بحث في نظام الكون

استكشاف للطبيعة البشرية ورؤيتنا للعالم ومكاننا فيه

جورج جونسون

ترجمة : أحمد رمو

الهيئة العامة السورية للكتاب



تصميم غلاف : علي مولا

جورج جونسون

بحث في نظام الكون

"استكشاف للطبيعة البشرية ورؤيتنا للعالم ومكاننا فيه"

ترجمة: أحمد رمُو

منشورات وزارة الثقافة ـ الهيئة العامة السورية للكتاب

العنوان الأصلي للكتاب:

Fire In The Mind

المقدمـــة

الكيڤات[1]، والمُورادات، وأسرار العصر النووي

قبل عدة سنوات، وخلال زيارة إلى مسقط رأسي، نيومكسيكو، من منفاي الاختياري في مدينة نيويورك، كنت أقود سيارتي في أراضي قرية تروتْشِس الكاثوليكية الشهيرة، على الطريق العام من سِنتافي إلى تاوْس عندما انعطفت حول زاوية وأجفلتني رؤية كنيسة صغيرة من الطوب ببرجها البلاستيكي المموج الملون بالأخضر والأصفر (من ذلك النوع الذي يستخدم لتغطية سقوف السيارات والمسابح)، ولوحة قرأت عليها "تمبلو سيون، أسَّمْبليدوس دو سيون" –معبد زيون، مجمع الرب.

كنت دائماً أشعر بالضيق أثناء قيادتي للسيارة في تروتْشِس. فعلى الطريق العام إلى تاوس، تستكن في الوديان معظم القرى الصغيرة–شِمِيو، وكردوڤا، وإلڤاليه، وأوجو ساركو، وترامپاس، وپنياسكو، مطمئنة إلى أنها محمية من العوامل الجوية. أما تروتْشِس فهي أكثر شبهاً بقرية توسكانية، تستريح مكشوفة في أعلى قمة مرج جبلي صارم في جبل سانچر دو كريستوس (دم المسيح)، في مشهد متصل ينحدر نزولاً بحرية حتى ريو چراند. وتشتهر هذه البلدة، منذ القدم، بعدم ترحيبها بالغرباء، وعدم اهتمامها سواء كان الانكليز من سنتافي أو من نيويورك، أو إذا كان الأسبان من القرية التالية في أعلى الطلعة. ويسمع المرء أحياناً حكايات من زائرين يتوقفون لتناول كأس من الشراب في الحانة المحلية، فقط لاستدراجهم إلى معركة خسارتهم فيها محسوبة سلفاً، أو من متنزهين يتوقفون بسياراتهم في الغابة المجاورة للتنزه مشياً وصولاً إلى بحيرات ترامپاس، أو في حملة على ذرى تروتْشِس، والعودة ليجدوا أطر سياراتهم ممزقة أو ليكتشفوا اختفاء بعض الأجزاء من محركاتها. وقد تتضخم الأسطورة عند معاودة سردها. وكثيراً ما يلجأ أهل تروتْشِس ببساطة إلى حماية حياتهم الجبلية الهادئة. وهم، كأمثالهم في كافة أنحاء العالم، يحذرون الغرباء ويفضلون أحياناً أن يُترَكوا وشأنهم.

والتوابون الهرمانيون، "الأخوية التوابية،" وهي جماعة علمانية كاثوليكية، هم الأكثر حرصاً، خصوصاً على عزلتهم، ويشتهرون، ليس فقط بأعمال البر والمعروف، بل بممارسة الجَلْد سراً والعقوبات الأخرى المفروضة ذاتياً، وذلك لتذوق آلام المسيح على نحو أفضل. وعند طرف القرية، عبر البلدة من معبد زيون، يقع المورادا بهيكله من الطوب، وهو مكان الاجتماع حيث يمارس فيه الهرمانيون شعائرهم المقدسة. ولا يسمح حتى لزوجاتهم بمعرفة ما يجري داخله في ليالي أسبوع الآلام الطويلة. وتروتْشِس واحدة من المواقع الأمامية المتبقية من هذا التقطير العنيف للكاثوليكية، ولهذا كان من المدهش، بوجه خاص، أن تجد القرية وقد غزتها كنيسة أصولية محدثة تدعى معبد زيون، ويديرها فريق من البروتستانت المعروفين، في أقل لحظاتهم تسامحاً، بإعلان أن الكنيسة الكاثوليكية هي عاهرة بابل في سفر الرؤيا.

ولكن تروتْشِس أصبحت اليوم أكثر وداً بقليل، بعد أن استعمرتها صالات العرض الفنية من سنتافي وأماكن تقديم الطعام والمبيت أيضاً. وعندما عُدْتُ بعد بضع سنوات، وجدت معبد زيون مغطى بالألواح الخشبية وعلى

---

[1] -الكيڤة: حجرة واسعة واقعة كلها أو جزء منها تحت الأرض، في قرية من قرى الهنود الأمريكيين، تؤدى فيها الطقوس الدينية وغيرها-المترجم.

الباب لافتة تحمل عبارة "للبيع" ولكنه استقر في ذاكرتي كرمز لعمق التناقضات وغرابة المجاورة، اللذين يضمنان الحياة لمثل هذا المكان العجيب والساحر.

وهناك على مدى النظر، على بعد ثلاثين كيلو متراً من تروتْشِس عبر وادي ريو چراند، مدينة أخرى للأسرار هي مدينة جيميتس، الجاثمة فوق قمة هضبة في سلسلة جبلية أخرى. وتشتهر لوس ألاموس القاحلة والحديثة جداً ضمن هذا الإطار الرائع، والتي اكتسبت اسمها من أشجار الحور، بأنها قدمت للعالم القنبلة الذرية. وكانت مدينة المختبرات هذه قد أنشئت رسمياً، قبل وقت طويل، كصندوق بريدي في سنتافي. واليوم، يطغى ببطء على إنتاج السلاح علم الطبيعة النظري، وعلم الكون، والعلوم الرياضية اللاخطية، وعلم الأحياء، وعلم المناعة، والعمل الكبير المرهق لإزالة التلوث النووي السام من الأسلحة الدفاعية. ولكن إحساس التكتم ما يزال باقياً في الكثير من أحياء المدينة. فتواجهك باستمرار، وأنت تقود السيارة عبر الوديان الضيقة والهضاب حول هذه المدينة، لافتات مميزة، زرقاء وبيضاء–المنطقة الصناعية ٣٩، المنطقة الصناعية ٣٣، المنطقة الصناعية ٤٩– للدلالة على المباني الموقتة، والآثار المتبقية من أيام الحرب الباردة، التي ما تزال محاطة بالمحارس والأسيجة السلسلية المتصلة. وبعض المناطق موسومة بإشارات للتحذير:

ابتعدوا

تفجيرات خطرة

ووُسِمَت بضعة مواقع بثلاثة مثلثات تلتقي بنقطة واحدة لتحذير الناس من مختلف اللغات من النشاط الإشعاعي. ما الذي يجري في الموردات التكنولوجية في لوس ألاموس؟ لا يستطيع أحد أن يجزم.

وبين المناطق التكنولوجية وموردات تروتْشِس، يقع أيضاً المزيد من المعابد بأسرارها الخاصة: كيڤات هنود التيوا المبنية من الطوب وتتبعثر في وادي ريو چراند، وهو الامتداد الجاف لأشجار الصنوبر والعرعر المنتشرة بين جيميز وجبال سانچر دو كريستوس. وتقدم قرى الهنود الحمر في سان آيْدِفونسو، وسانتاكلارا، وسان خوان، ونامب، وتسكيو، وبوجوكيو، أحياناً رقصات شعبية على سبيل الاستسلام للفضول، ولكن معظم طقوسها المقدسة ما تزال تجري وراء أبواب مغلقة.

وتشكل الومضات من تقاطب آخر للشحنات الكهربائية قوساً مائلاً فوق وادي ريو چراند، تولِّده مدينة العلم ومدينة الفنون: لوس ألاموس، العسيرة الحواشي، التي أنشئت من الخرسانة والفولاذ، وسنتافي، بخطها الأفقي المرهف المؤلف من بيوت وصالات الطوب، وكاريكاتير البيوت التقليدية لقبائل التيوا التي تكلف ملايين الدولارات. والحاضرة الملكية للمذهب المقدس الذي أسسه القديس فرانسيس الأسيزي، هي اليوم العصر الجديد أكثر من الكاثوليكية، سوق شرقية تعرض كل هرطقة تحت الشمس. وسنتافي أيضاً في طريقها لأن تصبح مدينة علم. يحب بعض مهنييها أن يعطوا انطباعاً بأنهم من النوع الأكثر دماثة وانفتاحاً. وفي السنوات الأخيرة، أصبح معهد سنتافي، الذي يجثم وسط السفوح التي تتموج نزولاً من الجبال صوب المدينة، مركزاً للبحث عن قوانين التعقيد، التي تحاول توضيح كيف يعمل كوننا الذي لا يشعر لتكوين الحياة، والعقل، والمجتمع. ويتحالف بعض

من هذا البحث بقوة مع مدرسة البحث الأمريكية، وهي مؤسسة سنتافي التي أربكها طويلاً النهوض والسقوط المفاجىء لحضارة أناسَزي في شاكو كانيون وميزا ڤيرد، التي انجرفت بقاياها، كما يبدو، إلى الشاطىء لتساعد في إنشاء بيوت الهنود الحمر التي تتراصف في ريو چراند.

تعلن نيومكسيكو عن نفسها، منذ زمن طويل، بأنها الأرض التي تضم حضارات ثلاث–هندية، وأسبانية، وانكليزية–ولكن عندما يُدرِج المرء معها الثقافات الفرعية المختلفة، العلمية والدينية، فإن الاختلاف يبدو شاملاً. نشأت فكرة هذا الكتاب في ذهني بعد أن اعترض سبيلي، بصورة غير متوقعة، معبد زيون. وبدا لي هذا الخضم من الفقاعات غير القابلة للتمازج، حيث تتصادم المعتقدات القديمة والجديدة مع بعضها بعضاً، أنه المكان الملائم للتفكير ببعض الأسئلة حول العلم، والدين، والفلسفة التي أزعجتني طويلاً– النوع إياه من الأسرار التي قام بتحريها بعض المفكرين في سنتافي ولوس ألاموس:

–كيف نشأ الكون من عدم محض؟

–كيف ينشأ العالم المادي الذي يتقدم تدريجياً ونخبره من لا حتمية السديم الكمومي؟

–كيف تنشأ الحياة من التصادم العشوائي لجزيئات ميتة؟

–كيف ينشأ العقل من الدماغ؟

واللغز الوحيد الذي يطغى على البقية: هل هناك فعلاً قوانين تحكم الكون؟ أم أن مواشير أجهزتنا العصبية، وهي مجرد نتاج للطريقة التي ربط التطور بها أدمغتنا، هي التي تفرض النظام الذي نراه؟ وهل النماذج التي أوجدتها الثقافات العلمية الفرعية في سنتافي ولوس ألاموس تتشبث بادعاء ما بخصوص الحقيقة الكونية، أم أن زائراً من مجرة بعيدة سيعتبرها محسومة ثقافياً كتلك التي يمارسها هنود التيوا والتوابون؟

بدت نيومكسيكو الشمالية، بأحجيتها المقطعة الصور للمشاهد العالمية وتقليدها المديد في استمالة من هم على الحواشي والتخوم الفكرية والروحية، مكاناً مثالياً لاستكشاف منطقة شبه الظل حيث يتلاشى النور المتألق للعلم إلى ظلمة، لسبر أعماق ما نعرفه–أو نظن أننا نعرفه–حول هذا العالم الذي وجدنا أنفسنا فيه. ولعدة أسباب، أصبحت هذه المدينة، التاريخية والجغرافية، عقدة في شبكة الناس حول العالم الذين بدؤوا يشككون ببعض القناعات العميقة الجذور للعلم. ووجدت أنه، بدلاً من القفز إلى إحدى الطائرات والاتجاه إلى الشاطىء الغربي، أو إلى الشاطىء الشرقي، أو إلى قارة أخرى، يمكنني أن أستقر كالعنكبوت في وسط هذه الشبكة وأنتظر طالما استمرت سنتافي تجذب بعضاً من أكثر المفكرين أهمية في العالم. ومع أن البعض يعرض طرقاً حديثة أخّاذة للتفكير بعلم الطبيعة وعلم الأحياء، فإن الآخرين يتحولون إلى الداخل ويتأملون الحدود المتمِّمَة لمشروعهم.

هناك شيء ما، كما يبدو، حول الارتفاع هنا والتضاريس الصارخة بين الجبل والصحراء يدفع التفكير إلى المضاء ويجعل العلماء، حتى الأكثر رزانة، أكثر تفكيراً، وأكثر استعداداً لإعادة العلم إلى نفسه، للتنظير حول ما يعنيه التنظير–حول كيف نضع هذه الخرائط للعالم. ويمكن اعتبار نظرية ما كتجهيز منحنى لنثر المعلومات. وببساطة، يمكن للمرء أن يذهب دائماً من نقطة إلى نقطة، بوصل النقاط كما في دفتر تلوين الطفل. وكل ما يبقى هو خط متمعج ضعيف القدرة على الإيضاح؛ ولا وسيلة للتنبؤ كيف يحتمل أن تسقط النقاط المستقبلية. والعلم هو البحث عن منحنيات دقيقة، يمكن التنبؤ بها، عن وسائل مترابطة لإجمال المعلومات. ولكن هناك

دائماً خطر يتمثل في أن تكون المنحنيات التي نراها وهمية، كما هي صور الحيوانات التي نراها في الغيوم. وعندما نرسم أقواسنا الذاتية الدفع، فإن نقاطاً سوف تبقى حتماً خارج الخط–تلك التي يجب أن تكون استبعدت على اعتبارها خطأ أو تشويشاً عشوائياً. وهكذا، فإننا نبقى في حالة سخط مؤرّق. هل أهملنا شيئاً ما؟ لو أننا نظرنا إلى النقاط بجهد أكبر، لو رسمناها بطريقة أخرى، فهل كان سينبثق ترتيب أكثر إتقاناً؟

هناك طريقتان مناقضتان لرؤية المشروع. فقد كُتِبَت كافة الكتب العلمية تقريباً، المشهورة وغير المشهورة، على افتراض أن هناك، في الواقع، قوانيناً للكون، وتلك القوانين كعروق الذهب، والعلماء هم المعدِّنون الذين يستخرجون خامة المعدن. ونُعرَض نحن بصورة المستكشفين المغامرين الذين يكتشفون الحقيقة (الإله). غير أنه يمكن أيضاً اعتبار العلم كمبنى، كصرح من صنع الإنسان، تاريخي، لا أزلي–واحدة من كثير من الطرق البديلة لتقطيع العالم.

نميز، في مجتمعنا، بين التاريخ والعلم وبين التاريخ وكل شيء آخر. ففي تاريخ بلد ما أو شخص ما، ليس هناك نمط حتمي تسير الأمور وفقاً له. ونحن نلهو بألعاب نتخيل فيها الحالة التي كان سيكون عليها العالم لو لم يتم اغتيال جون كينيدي أو لو تم اغتيال رونالد ريجن؛ أو كيف كانت ستكون حياة أحدنا لو امتطى طائرة أخرى أو اختار فرعاً مختلفاً في الجامعة ولم يلتقِ أبداً بزوجه أو زوجته.

ولكن، من المفترض أن يكون تاريخ العلم مختلفاً. فالحوادث الطارئة الوحيدة التي يسلِّم بها معظم علماء الطبيعة هي مسائل من قبيل من هو الذي قام بالاكتشاف أو متى حدث الاكتشاف. وأسماء الجزيئات، لا الجزيئات ذاتها بالتأكيد، حوادث طارئة تاريخية–"إلكترون electron" هو شكل للكلمة الأغريقية "كهرباء amber"، و"كوارك quark" يلمِّح إلى سطر كتبه جويس[1]. ومن المفترض أن يكون هناك عيار ذهبي يعزز قيمة قرننا العلمي: الحالة التي عليها الكون في الواقع. فإذا غامر أحدنا بعيداً جداً عن الصراط المستقيم، فإن الواقع سيرده بنزق. ورؤية العالم الموضوعي–المحكوم بقوانين مثالية للطبيعة التي توجد بطريقة ما في دائرة وراء المكان والزمان العاديين–عميقة عند معظم العلماء مع أنها قلما طرحت فرضيات. وهذه المعرفة، تقريباً، هي أساس ديانتهم.

ولكن، ماذا لو كان العلم عملية تاريخية كأي شيء آخر، متاهة من الإمكانيات المتفرعة؟ ربما نجد، في تركيب صورتنا الخاصة عن العالم، مسالك كثيرة يمكن أن نسلكها. مع ذلك، كيف لنا أن نعرف في يوم ما؟ يمكننا أن نعتبر كل تجربة وتفسيرها كمفترق طرق. قرار فقرار، ونُدفَع إلى مناطق جديدة في حيز الاحتمالات. وقبل مضي وقت طويل، نكون قد غامرنا إلى مسافة بعيدة جداً في اتجاه واحد يمكن أن يكون كل شيء باستثناء العودة، لأنها مستحيلة. قادنا بحثنا عن الحقيقة على امتداد غصن واحد فقط من أغصان شجرة المعرفة حتى ابتعدنا كثيراً فوق أملود واحد عند نهاية فرع محدد أصبحنا عاجزين معه عن تصور كيف يمكن أن يكون في ظروف أخرى. ماذا لو اكتشفنا عند نهاية أماليد أخرى، طرقاً صحيحة مماثلة–ربما أفضل–لتفسير العالم؟ إننا لن نعرف ذلك أبداً. لا يمكننا القفز من الورقة التي نحن عليها إلى ورقة مجاورة، إنه القفز عبر الفراغ المخيف

---

[1]–جيمس جويس، كاتب إيرلندي توفي عام ١٩٤١.–المترجم.

لفضاء تصوري خاوٍ. وللقفز إلى ورقة أخرى، علينا أن نعود أدراجنا، نعود إلى الأملود، فالغصن، فالفرع، وربما كل الطريق إلى الجذع، ثم نعود إلى التسلق من جديد.

وكما أن هناك بالضبط عدة طرق لكتابة كتاب، ويتوجه المرء إلى اتجاهات معينة بقراراتٌ أتُخذَت في وقت سابق، ربما كان هناك كثير من الطرق لإنشاء علم ما. وفيما يخص كتاباً غير منجز، يمكن تمزيق كل شيء، أي البدء من جديد. أما فيما يخص آلافاً من العلماء الذين يعملون مع بعضهم بعضاً في المخطوطة نفسها، فيمكن القيام بكل شيء إلا السباحة ضد التيار.

أظن أن هذا الكتاب غير عادي لأنه يتبنى موقفاً لاأدرياً[1]–بين حدود العلم كاكتشاف والعلم كإنشاء. وفي النهاية، لا نجد طريقة لمعرفة ما إذا كان العلم يتركز على حقيقة واحدة، أي، على الحالة التي يكون عليها الكون في الواقع، أو أنه، ببساطة، ينشىء تراكيب اصطناعية، أدوات تتيح لنا أن نتنبأ، إلى حد ما، وأن نفسر وننظم. حوَّمت هذه المعضلة في مؤخرة عقلي عندما اكتشفت لحاف الثقافات المرقع في نيومكسيكو، الذي يؤيد الناس ضد حافة المعرفة، وضد ما يحتمل أن يُعرَف.

سنجد التوتر بين التاريخ والعلم، المصادفة والقانون الطبيعي الأزلي، في كل مكان من صفحات هذا الكتاب. تقليدياً، كان علم الأحياء يعتبر علماً تاريخياً، بينما كان علم الطبيعة يعتبر بمثابة بحث عن الثوابت. فعلماء الطبيعة يبحثون عما هو مستمر في كل مكان من الكون. أما علماء الأحياء فيُفترَض أن يكتفوا بشق طريقهم عبر تزايد الآليات والآليات المركبة على الآليات التي صدف وطرحها التطور على الأرض– لن نستطيع، مع اختلاف دور لعبة النرد الداروينية–إدراك ذلك. وواحد من مباحث هذا الكتاب هي الضبابية التي تكتنف التمييز بين علم الطبيعة وعلم الأحياء. وسنرى علماء الأحياء يبحثون عن الحقائق الأزلية ومبادىء التعقيد–قوانين المتعضي التي قد تنعكس في كل المخلوقات، الأليفة أو الموجودة خارج نطاق الأرض، وحتى في المتعضيات المتبدلة كالمجتمعات والاقتصاديات. وبعكسهم، سنرى علماء الطبيعة الذين يبحثون عن علامات المصادفة في الطريقة التي اتفق للكون أن تبلَّر بها منذ الانفجار الكبير. وربما كانت الجسيمات والقوى التي نلاحظها والقوانين التي تعمل بموجبها "حوادث مُجَمَّدَة،" كالبنى البيولوجية تماماً. فإذا صح ذلك، فإننا لا نحتاج إلى نيوترينوات neutrinos أكثر مما نحمله من خضاب الدم، ولا أكثر من اثني عشر ضلعاً وثلاثين فقرة لكي نتمتع بقوى أربع ضرورية.

ولتغطية موضوع البحث بين هذين الغلافين، أعتزم القيام بجولة في بعض تخوم العلم الذي تم اكتشافه في القرن العشرين في مختبرات نيومكسيكو الشمالية. وبعد مسح سريع وشامل للحقل الطبيعي والفكري، سأقدم، في القسم الأول، عرضاً عاماً لفيزياء الجسيمات وعلم الفلك، وعلم الجزيئات الصغيرة جداً وعلم الجزيئات الكبيرة جداً. وعن طريق مراجعة تاريخ هذين الفرعين بطريقة مختلفة–دراستهما باعتبارهما صرحين فنيين أكثر منهما حفرتين لحقيقة موجودة مسبقاً–فإن هذه الفصول ستمهد السبيل للجزأين الثاني والثالث، اللذين يصفان ما استوقفني باعتباره أكثر المشاريع إشاعة للبهجة في معهد لوس آلاموس وسنتافي. وسنصف في القسم الثاني محاولة لإعادة صياغة علم الطبيعة وعلم الفلك، العودة إلى تسلق شجرة المعرفة (أو إلى أصل واحد من

[1]-اللاأدرية: مذهب يقول إن وجود الله وطبيعته وأصل الكون أمور لا سبيل إلى معرفتها-المترجم.

فروعها، على الأقل) واختيار غصن مختلف إلى حد ما، في المفهوم غير المادي للمعلومات مسلم به، كما يبدو، بوصفه كمية أساسية، محسوسة وحقيقية، كمادة وطاقة. إن واحداً من أهداف هذه الطريقة المتبادلة لتجزئة العالم هو تحسين فهمنا حول كيف تنشأ الثقة بعالمنا المادي من عشوائية نظرية الكم، وكيف يوجِدُ عالَمٌ لا يشعر مخلوقاتٍ مثلنا، تقتات بشراهة من المعلومات. وفي الجزء الثالث، سننظم المعلومات لتوضيح سر آخر: كيف يمكن لشيء ما معقد ومكتف بذاته كالحياة أن ينبثق من الاهتياج العشوائي الكبير للبحار البدائية. وعندما بدأت هذه العدوى الأرضية (يطلق عليها توماس مان اسم "حمى المادة")، كيف ازدادت تعقيداً إلى درجة يمكن للمرء معها أن يتأمل ملياً بداياتها؟ وهل تكفي عشوائية الاختلاف والانتقاء في التطور الدارويني لتفسير هذه الظاهرة؟ أم أن هناك مصدراً أعمق للنظام؟

كان تمحيص النظام من العشوائية، من البداية بالذات، هو القوة الدافعة للحياة، التي تنظم المجموعات الاتفاقية من الجزيئات والخلايا إلى هذه الكائنات مع علومها ودياناتها، لأن العلم نصف الحقيقة فقط. ومجاراة لهذه التجاورات الغريبة والتباينات الصارخة لهذه الأرض التي تنتابها الأفكار، سوف تشتمل الرحلة على رحلة جانبية عرضية إلى الثقافات الفرعية الأخرى في نيومكسيكو، تلك التي طورت طرقاً مختلفة جداً لاكتشاف نظام وفرضه في عالم نزوي إلى حد مثبط للعزم أحياناً. وفي غضون كل ذلك، سنحاول النظر إلى العلم على اعتباره جزءاً من تاريخ أكبر: الدافع لاكتشاف مكان لأنفسنا في كون لم نطلب أبداً أن نولد فيه.

عدت إلى نيومكسيكو لمعرفة ما إذا كان يمكن لشخص مثلي، ليس عالماً ويهتم بحماس بالعلم، أن يطور إحساساً لمناسيب معرفتنا الحالية، خريطة لحقل معرفتنا، صورة تنسجم إلى حد مريح مع ما يدور داخل رأسي. ولكنني، كواحد من الفاتحين الأسبان الذين كانوا يهيمون من امبراطوريتهم في الجنوب إلى هذه المنطقة النائية التي تكتنفها الأسرار. سرعان ما وجدت نفسي في أرض غير مدونة على خريطة، القفر الذي يطلق عليه واضعو الخرائط اسم الأرض المجهولة.

القسم الأول

جبال أربعة سحرية

القوانين الوحيدة للمادة هي تلك التي يجب أن تخلقها عقولنا،
والقوانين الوحيدة للعقل هي التي خلقتها له المادة.
-جيمس كليرك ماكسويل

الفصل الأول

أشباح فيدروس

في المساء، عندما يكون كوكبهم على وشك أن يكمل دورة أخرى، تتجمع زمر صغيرة من أبناء الأرض في سفوح جبال سانجِر دو كريستوس ويشتركون في طقس قديم ربما كقدم الجنس البشري. وهم، كأندادهم من المخلوقات التي تتجمع على الرصيف في كاي وِسْت، في فلوريدا، عند أهرامات تشيشين إتسا في يوكيتان، أو على منصة المراقبة في مركز التجارة العالمية في مدينة نيويورك، يبحثون عن موقع يوفر لهم الأفضلية، مكان يمكن منه مراقبة الشمس عند الغروب.[٢] وفي المرتفعات العالية في نيومكسيكو الشمالية، يتنفسون النسيم البارد العليل الذي يغذي الحياة، حيث يقفون على السفح المفتت الذي يشرف على المباني الطينية المنمطة في قلب مدينة سنتافي ويحدقون غرباً عبر الهضاب المسطحة القمة المتحدرة الجوانب والأخرى المنعزلة الشديدة التحدر على جانبي وادي ريو جراند، مأخوذين ربما بالزاوية غير المألوفة لهبوط أشعة الشمس التي تُظهِر معالم جغرافية جديدة، مما يجعل ما هو مألوف يبدو فجأة غريباً جداً.

أما جبال جيميز، التي تشكل أفقها الغربي حمم متحجرة ورماد مرصوص من ثوران بركاني عمره مليون سنة، فتنتصب نهاراً غير متطفلة بعيداً عن الأنظار، كفكرة مُسلَّم بها جدلاً، أو صديق خفيف الظل–لا منافس للجلال المهيب لسانجر دو كريستوس، تلك الذرى الضخمة الأقدم من الجرانيت من العصر ما قبل الكَمْبَري[٢] التي توفر الحماية لسنتافي مما يمكن أن يهددها من جهة الشرق. ولكن عند خاتمة الشفق، تحظى جبال جيميز بنصيبها من الشهرة لمدة خمس عشرة دقيقة. فما أن تبدأ الشمس بالتحرك إلى خلفها، حتى تتحول الخلفية فجأة إلى مقدمة، ويبرز بعدان إلى ثلاثة أبعاد. وتبدو الغيوم في السماء متوهجة كالجمر، الذي ينثر ألواناً حمراء ضعيفة الترددات. وتتفتح الهندسة الدفينة كزهرة أوريغامي، كاشفة الذرى والهضاب والوديان الضيقة غير المرئية.

ولكن رؤية هذه التضاريس التي شوهدت مؤخراً تتلاشى بالسرعة نفسها التي تتلاشى فيها تلك الكتل الضخمة من الغيوم الركامية التي تتكدس مؤقتاً في السماء. فما أن تبدأ العين استكشافاتها، حتى تنحدر الشمس أكثر، وتختفي التفاصيل؛ وتنهار الأبعاد الثلاثة رجوعاً إلى بعدين، حتى لا يبقى سوى صورة ظلِّيَّة. نور خلفي لأشعة الشمس الآفلة، ذرىً مثلَّمة تبدو منبسطة وسوداء، كثقب متشظ في كبد السماء.

وفي بعض الليالي، تتوهج ذرى سانجر دو كريستوس في هذه اللحظات النهائية ببهاء الدم الأحمر الذي أسبغ عليها اسمها. وببطء، تظهر النجوم واحدة واحدة. وفي الشتاء، تدب الجوزاء وكلبها الشِّعْرى اليمانية عبر السماوات، متعقبة الشمس خلف الجبال؛ وفي الصيف، يظهر العقرب في الأفق الجنوبي، مبعوثاً من أبولو[٣]، كما كان يقول الأغريق، لمطاردة الجوزاء عبر السماء.

وهناك في الأسفل، عند الغدران، تبدأ أضواء سنتافي تجمُّعَها في كوكبات خاصة، لتضيء الأشكال الهندسية

---

[٢]-هناك موضعان لمراقبة غروب الشمس هما: صليب الشهداء، على هضبة مباشرة إلى شمال قلب مدينة سنتافي، وحانة برج الأجراس في فوندا، في الجهة الأخرى لزاوية الساحة العامة الجنوبية الشرقية.

٢-أقدم العصور الجيولوجية، دام أربعة آلاف مليون سنة قبل العصر الكمبري، أما العصر الكمبري فجاء بعده ودام خمسمئة مليون سنة قبل عصرنا الحالي-المترجم.

[٣]- إله الشعر والموسيقى والجمال الرجولي عند الأغريق-المترجم.

التي تتوسع سنوياً إلى مسافات أبعد مع دمغ المستثمرين للأرض بتصاميمهم. وبعيداً إلى الجنوب، يمتد شريان من مصابيح السيارات–كريات حمراء تتناوب مع كريات بيضاء–باتجاه الوهج الميچاواتي الصادر عن ألبوكيرك[٤]، حيث تنتصب جبال سانديا باردة وصامتة، يميزها وميض الأضواء الذي ترسله أبراج التلفزيون، التي تنشر إشارات غير مرئية إلى المخلوقات التي تعيش في هذا الخضم من التوهج الحراري، وإلى الأعلى نحو نجوم لا تدرك ما يجري.

إن هذه الأرض، في أسطورة الخلق عند هنود التيوا، أحفاد قبائل الأناسَزي المفقودة الذين تقع بيوتهم شمالي ريو چراند، هي مركز الكون، المكان الذي بدأت فيه الحياة. لقد صعد الناس الأوائل عبر بحيرةٍ من العالم السفلي، وساروا شمالاً، وجنوباً، وشرقاً، وغرباً، وعادوا ليعلنوا أن مربعاً صغيراً فقط من هذا السطح العدائي ملائم للسكنى. جبال أربعة مقدسة–سانديا كريست، وشيكوما بيك في جيميز، وتروتْشِس بيك في سانچر دو كريستوس، وكنجيلون بيك، الكيان الضبابي في الشمال–مقاطعة صغيرة جداً حددت أطراف هذا العالم، قالت الآلهة إن الناس يمكن أن يعيشوا فيها بانسجام.

وسواء صدقنا، أو لم نصدق، أن نيومكسيكو الشمالية هي مركز الخلق، فإنه من السهل على المرء أن يتعاطف مع الرغبة بعالم محدد أكثر تنظيماً. فهناك ما يبعث على التسلية في معرفة أسماء الجبال، والعيش تحت سماء مألوفة. فكما تكره الطبيعة الخَواء، كذلك العقل يكره العشوائية. نحن، بصورةٍ آلية، نرى صوراً في النجوم فوقنا؛ ونسمع أصواتاً في الضجيج الهائج للنهر، وموسيقا في الجو. وكما تقوم القنادس، بصورة طبيعية، ببناء السدود والعناكب بنسج البيوت، فإن الناس يرسمون الخرائط، في السماء وفي الرمل.

إذا وقف المرء على التلال فوق سنتافي، وألقى نظرة على المزيج المشوش من الحضارات–الهندية، والأسبانية، والانكليزية–التي ترعرعت ضمن المكان الذي تحده جبال تيوا الأربعة، فإنه يبدأ، طبعاً، بالتفكير بالأساسيات المهمة للدوافع البشرية: هاجس إيجاد نظام وفرضه. وسواء كانت الأنظمة التي نبتكرها جغرافية، أو دينية، أو علمية، فإننا ننتهي حتماً، كما يبدو، إلى تعيين خريطة للأرض، للإصرار على أن الخطوط التي رسمناها حقيقية.

من وراء الجبال الأربعة السحرية في أقصى الجنوب، جاء الاسبانيون، قبل أربعمئة سنة، بخيولهم، ومدفعيتهم، وكاثوليكيتهم.[٥] وقام القسس الفرنسسكان، تساندهم قوة الجنود الأسبان، بفرض طقوسهم على الهنود، مستبدلين أرواحهم المقدسة بروح الكنيسة. ومنذ ذلك الوقت، أصبحوا يخاطبون الكورن ماذر بمريم العذراء المقدسة؛ واستبدلت الكائنات المقدسة المعروفة بالكتشيناس بالقديسين. ولكن سطحياً على أية حال. فقد استمر الهنود سراً يستمدون قوتهم من آلهتهم الخاصة. وعلى التل، فوق سنتافي، صليب طويل أبيض يحيي ذكرى الآباء الفرنسسكان الذين ماتوا في ثورة بويبلو عام ١٦٨٠، عندما قام الهنود–الذين اقتنعوا بعد سنوات من التنافر والقحط بأن سحر الرهبان لم يكن أفضل من سحرهم–بثورة ضد الأسبانيين وطردوهم إلى كامينو رِيَل قرب

---

[٤] نيومكسيكو-المترجم

[٥] -هناك الكثير من كتب التاريخ الجيدة عن نيومكسيكو. وقد اعتمدت على اثنين منها نشرا مؤخراً: When Jesus Come, the Corn Mothers went Away لـ Ramon guttiérrez؛ و Pueblo Nations لـ Joe S. Sando. والعمل الرشيمي الذي يعتمد عليه كل المؤرخين وضعه Marc Simmons و Angelico Chavez. وهناك أيضاً Earth Is My Mother, Sky Is My Father لـ Trudy Grifin-Pearce، يصف فيه كيف قسَّم النڤاچو السماء.

إلپاسو. ولكن الأمطار واصلت رفضها للهطول. وبعد اثني عشر عاماً، لم يواجه الدون دييجو دو ڤيرجِس في إعادة الفتح سوى مقاومة صامتة، وسيطرت الكاثوليكية من جديد. وفي شرق الساحة العامة التي تشكل مركز سنتافي، تقوم كاتدرائية القديس فرنسيس، بساعاتها التي تدق معلنة التوقيت.

إذا انتقلنا إلى مكان آخر من المجرة، فإنه سيروعنا أن نرى كوكباتنا تتمدد وتنضغط، تشوهها أفضلية موقع جديد. ولكن كم هو صعب تقدير أن تشويه شخص واحد يمكن أن يكون حقيقة عند شخص آخر، لأننا ننظر إلى العالم من خلال منظارين مختلفين، ولأن هناك طرقاً مختلفة لتقسيم السماء.

فبدلاً من الدب الأكبر وذات الكرسي، فإن النڤاجو، الذين تقع مملكتهم وراء جبال جيميز، يتصورونهما الرجل الأول والمرأة الأولى. وتسمى هاتين الكوكبتين أيضاً الذكر الدوار والأنثى الدوارة بسبب الطريقة التي ترقصان فيها حول نجم القطب، النجم الشمالي. ويصبح ذيل العقرب المتحد بالنجوم في الكلب الأكبر درب الأرانب. وهناك أيضاً الشَّيْهَم، والدب الأحمر، والرعد، والثعبان الكبير، والمُخَشْخِش الأقرن، والقاتل المسخ، والمولود للماء، وخنفساء القمح، ودروب الديوك الهندية، والذئب، والعُقاب، والعظاءة، والقُبَّرَة التي تغرد أغنيتها للشمس كل صباح. وهناك الإله الأسود الذي نظم الكوكبات بعناية في السماوات وأضرم فيها النار. ولكن قبل أن يوشك أن يكمل مهمته، سرق القَيُّوط[٦] جراب بلورات النجوم، وبعثرها عشوائياً عبر السماء.

لا يحتاج المرء إلى السفر إلى ألفا سنتوري لكي يرى الكون من زاوية أخرى. فجزء من سحر الأرض حول سنتافي هو العدد المذهل من الثقافات القديمة والحديثة، التي اجتذبتها المنارة النيومكسيكية. فبعد الاسبان، بدأ الأمريكيون يصلون بأفكارهم الخاصة الغريبة. في البداية، جاؤوا ببطء من الشرق في مجموعات صغيرة، كتجار، ومستوطنين، ومغامرين محدثين الأخاديد الأولى في الشريط الطويل الضيق للتعرية الذي سيصبح ممر سنتافي. وبعدئذٍ، جاؤوا، في عام ١٨٤٦، بكامل القوة كجنود، مكلفين بمهمة الاستيلاء على الجبال والهضاب من أجل الولايات المتحدة. وكان الشعب في هذه المناطق الشمالية النائية بالكاد لاحظ كيف أدت الثورة في الجنوب إلى الاستقلال عن أسبانيا عام ١٨٢١. وربما كان المحتلون قد ادعوا أنهم مكسيكيون بدلاً من ادعائهم أنهم اسبانيون، ولكن كل شيء آخر بقي كما كان تماماً. وأحدث انتصار الولايات المتحدة على المكسيك تأثيراً عميقاً. فقد دخل الكولونيل ستيفن كيرني وجنوده سنتافي، ورفعوا الراية الثالثة لكي ترفرف في الهواء النيومكسيكي (لم يكن هنود التيوا أبداً يشعرون بحاجتهم إلى واحدة). وأصبح الاسبانيون الآن إذا جلسوا على تقاطعات ممر سنتافي وكَمينو ريل، كالهنود من قبلهم، مجبرين على النظر إلى العالم بأعين الغرباء.

ومع تسخير العلم الحديث الجبار الذي سمي الديناميكا الحرارية، استبدلت عربات ممر سنتافي بالمحركات البخارية التي تجر القطارات. لقد تم فتح قناة جديدة، وراحت تصب فيها الأفكار الغريبة من كل نوع. وإذا سلك المرء الذرى المتعرجة لجبل جيميز شمالاً، فإنه يصل إلى هضبة پاجِريتو، حيث ظهرت مدينة لوس ألاموس السرية، في مطلع الأربعينيات، كمخفر أمامي لكوكب آخر. فموقع المختبر النووي، الذي تم اختياره بسبب جماله وعزلته، كان سرياً بالنسبة لمعظم العالم، ولكن سكان قرية سان آيْدِفونسو، وهي مستوطنة تيوابية على ريو جراند، كانوا يعرفون أن شيئاً ما غريباً كان يجري في الهضاب فوقهم. لأن حركة السير، كما يذكرون، كانت

[٦]- ذئب شمالأمريكي صغير-المترجم.

ضعيفة على الطريق الترابية التي تقود إلى ما بعد قريتهم وصعوداً على سفح هضبة باجِريتو، إلى مدرسة الصبيان البعيدة والخرائب المتناثرة من أيام أسلافهم الأناسَزي. ولكن فجأة جاء تيار مستمر: شاحنات تحمل مواد بناء ومعدات مختبرية من سنتافي، وحافلات تهبط التل لنقل رجال سان آيدِفونسو للمساعدة في أعمال البناء. ولكن كان من المستحيل اكتشاف السلع الأكثر أهمية التي كانت تجتاز الطريق من سنتافي: بعض الأفكار الأكثر عمقاً لعلم الفيزياء الغربي، مرمَّزة في شبكات عصبية من علماء من كل أنحاء أوروبا والولايات المتحدة- باحثين طوال الوقت كروبرت أوبنهايمر، وهانس بيتيه، وإدوارد تيلر، وريتشارد فينمان الابن؛ والزائرين المعتبرين كهنريكو فيرمي، وآي. آي. رابي، وجون فون نيومن، ونيلس بور.

وبينما كان هؤلاء الأشخاص البارزون من أرض أخرى يسيرون في دروب باجِريتو الوعرة، يناقشون المقاطع العرضية للانشطار النووي، والديناميات المائية للموجات الصدمية للانفجار الكروي، والمسائل الأخرى المقصورة على جماعة خاصة، بقي هنود سان آيْدِفونسو غارقين في عالم مفعم بالأرواح. وطوال العام، حيث تطول الأيام ثم تقصر من جديد، كانوا يتجمعون قرب كِيفاتهم الطقوسية لكي يرقصوا رجوع العالم إلى التوازن، وضمان عودة الفصول والشمس.[٧] واليوم كما في الماضي، تقع ساحة القرية التي يكسوها الغبار في مركز الكوزمولوجيا القديمة. هنا يقود *السيبابو*، أو ثقب الروح، كالثقب الدودي، إلى كون آخر-عالم ما تحت البحيرة حيث يقال إن الكائنات السحابية، أو الكاشيناس، تعيش وتمضي إلى حيث الأرواح الميتة.

تتصل هذه الرابطة الطقوسية، في عقول المؤمنين، ليس فقط إلى أسفل بالأرض ولكن إلى أعلى بالسماء، وتعمل كعدسة تركز الطاقات المنبعثة من الأضرحة إلى أعلى الجبال الأربعة السحرية، طاقة واحدة لكل خانة من الموصلة. وعند السيبابو [ثقب الروح]، تجتمع تلك الاتجاهات الأربعة الأفقية، وكل منها يترافق بلون: الأزرق للشمال، والأصفر للغرب، والأحمر للجنوب، والأبيض للشرق. ويترافق كل لون بحيوان، وإله، وبحيرة مقدسة. تشرق الشمس من البحيرة الشرقية؛ كالناس بالذات، وتبدأ وتنتهي في العالم السفلي. وكل شيء يرتبط بنسيج سماوي عظيم: الناس، الحيوانات، الكواكب، الأرواح، النجوم.

ويقال إنه إذا تشوش جزء واحد من الشبكة، فإن التموجات تنتشر في كل مكان من الكل. والأرواح المتعارضة يجب أن تبقى في حالة توازن: الأرض الأنثى والسماء الذكر، قوى الحرارة والبرودة، الناضج والفج، السحري والسحر. وتحت الرواقية الرزينة التي يدركها الكثير جداً من الأنجلوأمريكيين، يعيش سكان القرى الهندية في عالم نظام وضبط. فالرقص مبرمج وفقاً لتقويم معقد يعتمد على مواقع الشمس والقمر. وكل عضو في القبيلة يحتل موقعاً محدداً بدقة في هرمية معقدة. وعشرات الأرواح يجب استرضاؤها، بالطقوس الصحيحة التي تُنجَز في الوقت المناسب والحالة النفسية السليمة. وأبناء القبيلة، بتلك الأزياء التي ألفوها على مدى قرون، يؤدون رقصة السلحفاة، ورقصة الجاموس، ورقصة العُقاب، ورقصة قوس قزح، ورقصة القمح-يدورون ويدورون، دوائر ضمن دوائر، فيفرضون هندستهم الخاصة عندما يغنُّون على إيقاع الطبول. فهناك طقوس لإذابة الثلج، وتهدئة الريح، وضمان خصوبة المحاصيل، والحيوانات، والأبناء والبنات. وعن طريق الرقص لإعادة تمثيل الفصول،

---

[٧]- The Tewa World لـ Alfonso Ortiz، يصف بأناقة الرؤية المعقدة للعالم عند هنود التيوا. ولمزيد من المراجع، انظر ملاحظاتي في "استراحة إلدِفونسو."

حيث يتحركون في إيقاع مع الدوائر الخاصة بالأرض، يأملون أن يحافظوا على النظام، ويتخلصوا من الحوادث العرضية–ولادة طفل ميت، فصل ربيع دون مطر–التي تحدث عندما يُترَك العالم يسير دون نظام.

يسير هذا النظام المعقد وفقاً لنوع الزمن الذي هو دوري أكثر منه خطياً. والنظر إلى ما وراء نطاق التفاصيل المذهلة وإيقاع الحياة هو نفسه إلى حد بعيد، فصل يعقب فصلاً. والمعرفة تنتقل من جيل إلى جيل دون تغيير إلى درجة كبيرة. ومع أن الناس يموتون وينضمون إلى أجدادهم، إلا أنهم سيعودون في دورة ما في المستقبل. ولكن التيوا لا يعتبرون أنفسهم مخالب سلبية للآلهة. إنهم يشاركون في ضبط الكون.

والمحافظة على استمرار الكون مسؤولية شاقة. ولكن الهنود الحمر، على خلاف الكثير جداً من أولئك الذين وقعوا في أشراك أنظمتهم المبنية ذاتياً، لم يفقدوا قدرتهم على الضحك–ليس فقط من أعدائهم ولكن من أنفسهم. ومن بين ممثليهم في الطقوس الفصلية مهرجو الكوسا، الذين يصبغون أنفسهم بشرائط سوداء وبيضاء من الرأس إلى الأبخس، ويشقون طريقهم متعثرين ويقدمون شعائر يعبرون عنها بدقة عن طريق الرقص، محطمين الوقار. وأحياناً يسخرون من خصومهم القدماء البويبلو، والنقاجو والاسبان. وينجزون عروضاً ساخرة لقداس كاثوليكي، ورقصات قبائل أخرى، وحتى طقوسهم الخاصة.

إلى هذا الكون الموصوف بدقة كبيرة، جاء علماء الفيزياء، يحملون معهم النوع الخاص بهم من النظام. وشاهدوا أيضاً كون الثنائيات المتوازنة بدقة: الشحنات الموجبة والسالبة ضمن الذرة، ومعادلة أيْنشتاين للكتلة والطاقة (بذلك الثابت المدهش، سرعة الضوء للتربيع، الذي يظهر أن نواة تتداعى سوف تطلق قوة شريرة). وفي حين كانت لدى الهنود كنانة سهامهم الملونة الموجهة التي تنتشر من السيبابو، فإن الفيزيائيين كانوا يضعون أساساً لما سيعرف في يوم ما بالنمط المعياري، مع كواركاته[1] الصاعدة، وكواركاته النازلة، وكواركاته الحمراء، وكواركاته الزرقاء–شَقَفٌ صغيرة جداً في علم الرياضيات يقول المنظَِرون إنها تشكل نوى الذرات.

كان الزمن عند علماء الفيزياء خطياً، لا دورياً.[٨] وكانوا يؤمنون بقوة أن المعرفة ليست ثابتة، أي ليست ميراثاً من الماضي، بل هي شيء ما ينمو، يتقدم بطيئاً عاماً بعد عام مع تزايد سيطرتهم على الطبيعة. وفي حين كان عالَم سان آيْدِفونسو دردوراً جابذاً يدور حول كيفْة القرية، فإنه لم يكن هناك مركز بالنسبة للعلماء. فقد قلب أيْنشتاين، بنظريته الخاصة عن النسبية، الفكرة القائلة إن هناك موقعاً مميزاً تتم منه رؤية النجوم. ويصلح لهذا أي إطار عَطاليّ. وفي حين كان الهنود يرقصون للمحافظة على تزامن العالم ويكافحون للمحافظة على نقاء أفكارهم، فإن العلماء كانوا يأتون إلى لوس ألاموس لكي يتعلموا كيف يحررون القوى ذاتها التي تساعد على تماسك العالم.

وبالنسبة لهنود التيوا، الذين أرهبتهم الكاثوليكية، يمكن أن يكون المكان الذي أطلق عليه اسم ترينيتي سايت، في نيو مكسيكو الجنوبية، هو المكان المناسب الذي اكتسبت فيه الكلمات في معادلات الفيزيائيين معناها، حيث يتحول الرمل إلى فوهة زجاجية خضراء على جورنادو دو مويرتو، وهو الامتداد الأكثر خطراً للطريق الملكي

١- كوارك: جسيم أساسي افتراضي من مكونات الهدرونات (كالبروتون، والميزون والنيوترون ...إلخ.) شحنته ثلث (أو ثلثا) شحنة الإلكترون موجباً أو سالباً، حسب نوعيته-المترجم.

٢- تم تحري بعض أفكار فيزياء المعلومات في Complexity, Entropy and the physics of Information, edited by Wojciech Zurek.

القديم الذي سلكه المحتلون الاسبان. ولو كان سحر هنود التيوا قوياً، فلربما كانوا قد اختاروا الموقع نفسه لتفجير قنبلة.

ومنذ حدث هذا التحول الرياضي، وعلى مدى نصف القرن، تواصل لوس ألاموس بحثها المتناقض ظاهرياً لفك مغاليق أسرار الطبيعة لاستخدامها حتى في تصنيع أسلحة أكثر تدميراً. ولكن تحولت أيضاً ببصرها إلى متابعات سلمية أكثر، عندما طورت أجهزة ترشيح مفاهيمية نستخدمها في تمحيص النظام من العشوائية وفهم العالم.

وفي البحث عن طريقة اقتصادية أكثر لوضع خريطة الكون، تخلص العلماء ببطء من التراب، والهواء، والنار، والماء بوصفها عناصر أساسية، مركِّزين على رؤية القرن العشرين التي ترى أن كل شيء يتكون من تفاعل الكتلة والطاقة في مجال المكان والزمان. وكثيراً ما يقال إن ذروة هذا البحث هي ميكانيكا الكم، التي توفر هذه النبوءات الدقيقة بالطريقة التي تسلك فيها الجسيمات دون الذرية، ولكن تشير، كما يبدو، إلى أنه من الضروري أن يستحضر المراقبون عالمنا الصخري الصلب–عالم الفيزياء النيوتُنية التقليدية–من لا يقينية الحقل الكمومي. ففي نظرية الكم، يوجد جزيء في مقاربة حالات محتملة؛ وعندما يقاس فقط يتخذ صفات محددة، كالوضع أو كمية التحرك. وقد نفر بعض الفيزيائيين، من أمثال فوجسيتش زيوريك من القسم النظري في لوس ألاموس، من احتمالية هذه النغمات التوافقية الصوفية لهذا التشويه المضاد للكوبرنيكية، فراحوا يبحثون عن مقاربة أقل تركيزاً على الإنسان. ويعتقد هؤلاء أن المشكلة تكمن في أن العلماء، بتقاسمهم للعالم، أغفلوا مكوناً مهماً هو المعلومات. وعندما يضاف هذا الجزء الجديد إلى الأحجية، علاوة على الكتلة والطاقة، فإن نظرية الكم يمكن أن تتخلص من بعض الشبحية. وعن طريق تبادل الأفكار مع موري جِلّ مان، مخترع الكوارك، الذي يعيش في سنتافي، يحاول زيوريك وزملاؤه إعادة صياغة نظرية الكم بطريقة لا تتطلب وجود مراقبين.

ولوس آلاموس أيضاً تتصدر البحث في الديناميات اللاخطية–الشواش،[9] كما يسمى بشكل فضفاض. وفي أيام مشروع منهاتن، كان من الصعب جداً حل بعض المعادلات لتصميم قنابل ذرية حتى أن علماء الرياضيات من أمثال فون نيومن، وستانسلو أولام، ونيكولاس متروبوليس استخدموا ما كان يسمى طرق مونت كارلو، التي تغذي المعادلات بسلاسل أعداد عشوائية وملاحظة كيف تسلك. وللقيام بهذا، كانوا يبتكرون طرقاً لتملق الحواسيب، وهي البهائم الأكثر حتمية، لتوليد سلاسل عشوائية من الأعداد. وكانت النتيجة بعضاً من أول عمل مركَّز على ما يسمى اليوم المعادلات المشوشة، التي تبدو بسيطة ظاهرياً ولكن تولِّد أنماطاً معقدة جداً إلى درجة يصعب معها تمييزها من العشوائية. ومنذ وقت قريب جداً، تم تغيير الجداول. فعلماء الرياضيات، في مركز لوس آلاموس للدراسات الخطية، الذين ينظرون من خلال النهايات المعاكسة لمناظيرهم، هم من بين أولئك الذين يحاولون استخدام أدوات نظرية الشواش لاكتشاف تلميحات إلى وجود نظام خلف ظاهرة ما استبعد يوماً على

[9] -الشواش والدينميات اللاخطية هي موضوع كتاب chaos لـ James Gleick، و Chance and Chaos لـ David Ruelle، و Does God Play Dice? لـ Ian Stewart. ولأخذ عينة من رؤية معهد سنتافي للعالم، أقترح مقتطفين من بحوث علمية: Emergent Computation، تحرير Stephanie Forrest، و Emerging Syntheses in Science، تحرير David Pines. ويصور كتاب Gell-Mann الجذاب The Quark and the Jaguar أفكاره الخاصة حول التعقيد. وهناك وصفان صحفيان للمعهد، كلاهما تحت عنوان Complexity، يستحضران أيضاً روح المكان؛ أحدهما بقلم Mitchell Waldrop، والآخر بقلم Roger Lewin، وننصح أيضاً بـ Artificial Life لـ Steven Levy.

اعتباره عشوائياً.

وفي مضيها إلى ما بعد الشواش، التحقت لوس ألاموس بحوض فكري بَيْمَوضوعي يسمى معهد سنتافي لتطوير ما كان يوصف غالباً بأنه علم جديد للتعقيد، يسعى إلى تعليل سبب نشوء النظام في الكون على الرغم من كل الشذوذات. ومن البديهي أن يكون السؤال المهم المطروح هو: إلى أية درجة تكون الأنظمة التي نلاحظها خارجية في العالم وإلى أية درجة هي مفروضة من قبل أجهزتنا العصبية، وهي النظارات اللا مرئية التي تكسر كل شيء نراه. فالتعقيد يمكن، إلى حد ما، أن يكون في عين المشاهد. ولكن الكثير من العلماء في معهد سنتافي يعتقدون أنه يمكن أن يكتشفوا بالحدس القوانين الأساسية التي تنطبق على منظومات التعقيد من كل الأنواع-الخلايا، المتعضيات، الأدمغة، المجتمعات، المجرات. فهم يعتقدون، في أكثر لحظاتهم جرأة، أن كل هذه المنظومات يمكن أن تخضع للقوانين الكونية نفسها. فعلماء الحاسوب والبيولوجيون يجتمعون، كل سنتين، في معرض H-4 للحياة الاصطناعية، لإظهار براعتهم باعتبارهم خالقي بيئيات محاكاة تُحمَل فيها كائنات على التطور من معلومات صرفة. والقليل منهم-الذين يأخذون جدياً فكرة أن المعلومات أساسية كالمادة والطاقة- يذهبون بعيداً إلى القول إن الكائنات المحاكاة في عوالمهم المحاكاة هي كائنات حية فعلاً.

في هذه الأرض، أرض المجاورات الغريبة، تواصل الأفكار القديمة تعايشها مع الأفكار الجديدة. إن شقفاً من مشهدٍ لعالَم قديم، مثلها كمثل هيكل عظمي، يمكن أن تتحجر وتنتقل من قرن إلى قرن. فقبالة لوس ألاموس، في جبال التيوا المقدسة في أقصى الشرق، هناك أعضاء من أخوية التوابين المتكتمين، الهرمانيين، يعتقدون أن الألم وحده، كالألم الذي شعر به المسيح، هو الذي يمكن أن يغسل خطاياهم.[10] وفي السنوات الأخيرة، انتقلت طقوسهم إلى المزيد من السرية بسبب الفضول الذي يمارسه محبو الاستطلاع. ومع ذلك، تبقى بعض الصور الفوتوغرافية. فأثناء مسيرهم في مواكبهم السنوية يوم الجمعة الحزينة، وتنكبهم صلباناً خشبية ثقيلة وجلدهم لبعضهم بعضاً بالسياط، يظهرون كجماعات الجلد بالسياط في القرون الوسطى التي طافت أوروبا أثناء الوباء الأسود.

وفي كفاحهم ضد الشواش، يتمسك الاسبانيون الذين يتعلقون بالحياة في سانچر دو كريستوس، وهي إحدى المناطق الأكثر فقراً في الولايات المتحدة، دائماً بعقيدتهم الكاثوليكية بجدية تامة. فما كل الأسبانيين غزاة. والقرويون المتوضعون عند الحافة الشمالية الشرقية لاسبانيا الجديدة، كحاجز ضد الكومنشيين[11] الذين انساحوا من السهول الكبيرة، التمسوا العزاء بديانتهم، ولكن تلقوا بعض الإشراف من الكنيسة الكاثوليكية. وقد طور هؤلاء، المنسيون تقريباً في امبراطوية المناطق النائية، ديانة شعبية، ما يزال هاجسها بالموت والألم جلياً في الأيقونات الدامية التي تَعْمُرُ الكنائس القديمة المبنية من اللَّبِن: مسيحاً يتلوى ألماً على الصليب، ينزف من جروح بليغة في صدره، وثقوب المسامير في يديه وقدميه؛ جبينه مشروخ بإكليل الأشواك. فلا عجب أن سميت هذه الجبال بجبال سانچر دو كريستوس "دم المسيح". حتى الموت بالذات، نجده ممثلاً بهيكل عظمي يضحك مكشراً، ويركب عربة

---

[10]-الدراسة التقليدية حول التوابين هي Brothers of Light, brothers of Blood لـ Marta Weigle. وقد تم تناول الحياة في سانچر دو كريستوس بفصاحة في كلمات وصور River of Traps لـ William deBuys و Alex Harris، وهو كاتب ومصور عاش في قرية إلڤال، وفي عدة فصول من كتابEnchantment and Exploitation الرائع لـ duBuys. ولمزيد من المراجع، انظر الملاحظات حول "استراحة تروتشس."

[11]- أقوام شمالية من وييومنغ ونبراسكا، اتجهت جنوباً إلى نيومكسيكو وتكساس-المترجم.

ويطلق قوساً وسهماً.

ولكن هذه الأرض، بالنسبة للناس الذين يعيشون هنا، هي أيضاً أرض المعجزات. ففي قرية شِمِيو، مباشرة تحت الطريق القادم من تروتْشِس، يصل الحجاج يومياً إلى سنشيريو، ويتوجهون إلى غرفة صغيرة جداً بجانب الكنيسة، حيث يملؤون مغلفاتهم ومرطباناتهم بالتربة الأعجوبية التي يعتقدون بأنها تتمتع بالقدرة على شفاء كل الجروح. وعلى الجدران المجصصة للمبنى الطيني القديم عكاكيز معلقة، تركها، كما يقال، أناس تحقق لهم الشفاء. ولكن الكنيسة الكاثوليكية، في العصور الحديثة، تجد هذا النوع من التقوى مربكاً. ففي سبعينيات القرن الماضي، طلب رئيس الأساقفة من الكهنة أن يتوقفوا عن إرسال عينات من التراب لضحايا السرطان الذين كانوا يكتبون إلى الكنيسة يلتمسون علاجاً؛ فقد كان يخشى من أن يفوّتوا علاجات أكثر فعالية. وفي تلك الفترة بالذات تقريباً، بدأت تنتشر إشاعة حول قرية هولمان، وهي قرية تقع على الجانب الآخر من الجبال، تقول إن صورة المسيح تظهر كل ليلة في تلك القرية على جدار طيني قديم، مباشرة بعد أن تضاء مصابيح بخار الصوديوم في شوارع القرية. كان ثقبا رصاصتين يقومان مقام عينيه. وأشيع أيضاً عن مشاهدات لمريم العذراء وجون إف كنيدي بين شقوق الجص والتفافاته. وعلى مدى أشهر كان الناس يتجمعون حشوداً للتحديق في الجدار، بحثاً عن نماذج في توافقات الظل والضوء. وأخيراً، أرسلت الكنيسة فريقاً من الباحثين إلى هولمان، استنتج أنه لم يحدث شيء خارق للطبيعة، وأن المعجزة فقط تنحصر في إيمان الناس.

هناك، على سطح الأرض، القليل من الأمكنة التي يزعم الكثير جداً من الناس بأنها مقدسة وحيث يرى فيها الكثير جداً منهم العالم بطرق مختلفة. وفي السنوات الأخيرة، انضمت إلى الكنائس الكاثوليكية ومُوْرادات التوابين في سانجر دوكريستوس الكنائس البديلة التي أنشأها متشددون من مجمع الرب وطوائف أخرى، التي يعتقد بعضها أن البابا هو المسيح الدجال، وأن الحروب وإشاعات الحرب في الأنباء الليلية هي جزء من الصراع المانوي، النور ضد الظلام، الذي يشيع تقريباً في صفحات الكتاب المقدس. وفي المنطقة نفسها، هناك قاعدة أمامية للسيخ، وهم أتباع المحاربين المقدسين الذين يحرسون المعبد الذهبي في الهند. وعلى غرار البويبلو، يعتقدون أن مكسيكو الجديدة الشمالية هي أرض مقدسة. ومن مورادا التوابين في التلال فوق أبيكيو، المثوى القديم لجورجيا أُوكِيفِيهْ، يستطيع المرء أن يحدق عبر نهر شاما إلى مسجد إسلامي يرتفع من منطقة شبه مجدبة كسطح القمر تتكون من رماد بركاني حتته الرياح يمكن أن يظنها المرء أفريقيا الشمالية. وبعد جماعة دار الإسلام بعدة هضاب، يقع معتزل رانش جوست المهيب الصارم للكنيسة المشيَخية، ووراءها، عند نهاية الطريق الطويل القذر، هناك مسيح الدير الصحراوي. ومن هنا يستطيع المرء أن يقفز عبر الجبال إلى قرية جيميز سبرنچس، المعروفة في كل أنحاء العالم المسيحي بوصفها ملاذ القسس الكاثوليك، المبتلين بمشكلات عاطفية وروحية، بما فيها عشق الأولاد. هنا، يتشاطر القرية خدم البارَقْليط[١٢] وخادمات بريشيوس بْلود مع المركز البوذي لزِنِّيَّة المندالة. وقد وجد كل من بوذيي الزِّنِّيَّة، والبوذيين التيبتيين، والرهبان اللاترابيين، والبنيديكتيين محراباً في هذه الإيكولوجيا الثقافية التي ضربت جذورها في صحارى هذه المنطقة المتنافرة وجبالها. وبطرقهم المختلفة، يحاولون جميعاً أن يشاهدوا نماذج في الدوامة من حولهم، أن يجدوا موطناً لوجودنا في الكون يبدو أحياناً مُنسِياً.

---

[١٢]-الروح القدس-المترجم.

لم ينتج عن كل هذا بوتقة صهر، بل غليان عنيف مشوش. ويستطيع المرء أن يقضي يوماً في شهر أيلول يراقب رقص القمح في سان آيْدِفونسو، ثم يقود سيارته إلى سنتافي لكي يلحق بموكب ضوء الشموع من كاتدرائية سانت فرانسيس إلى صليب الشهداء الذي يكرِّم ضحايا ثورة البويبلو. والموكب يعيِّن نهاية الفيستا،[١٣] وهو احتفال يمتد أسبوعاً بيوم دو ڤيرجِس وجيشه الذي استرد سنتافي من الهنود. وفي روح التعديلية الأخوية، تم تعديل المهرجان في السنوات الأخيرة إلى احتفال فاتر أحياناً بالتعددية التثقيفية. وفي مهرجان الفيستا السنوي، يصور الاسبانيون الفاتحين الذين يصلون اليوم ماشين على الأقدام بدلاً من الركوب على الجياد ولم يعودوا يرتدون الدروع المهدِّدة. وفي الفيستا الحديث، ترافق وصولهم إلى ساحة سنتافي برقصة حرب قدمها بِكيوريس الهندي، وهو أحد المؤيدين الأكثر تعطشاً لثورة ١٦٨٠. وقد أعلنت بعض قرى الهنود تاريخ اندلاع الثورة عطلة رسمية– الرابع من شر تموز. بالنسبة للأكثرية، إن الجزء الأكثر أهمية للفيستا هو حرق الزوزوربا، وهو تمثال شاهق الذي، عندما يشعله راقص النار الآسرة، فإنه يتلوى ويئن كأنه يصعد في اللهب. ومع أن الزوزوربا يوصف أحياناً بأنه عادة أزتيكية قديمة، إلا انه ابتكر عام ١٩٢٦ من قبل الانكليز الذين كانوا يشعرون بأنه يجب أن يكون لهم طقس خاص بهم.

وسواء صدقنا، أو لم نصدق، أن المستقبل يمكن أن يتأثر بالإيقاعات الدائرية للرقص أو أنه يمكن أن نتنبأ من تحليل لآيات الكتاب المقدس، أو أنه يمكن أن نولِّد كوناً من بضعة قوانين فيزيائية مستبطنة، فإننا جميعاً نتشاطر الثقة بأن ما يكمن تحت تعقيد العالم هو البساطة. فقد اكتشف علماء النفس أنه إذا وضعنا أناساً في غرفة مزودة بجهاز يحمل بصلات مصابيح مسلَّكة بحيث تومض وتنطفئ عشوائياً، فإنهم سيميزون بسرعة ما يعتقدون بأنه أنماط، أي نظريات للتنبؤ بالبصلة التالية التي ستومض. فعندما يقع شخص في شرك آيديولوجية ما، أو عالِمٌ في شرك فرضية ما، فإنه يصعب ألا نرى الإثبات في كل مكان. وأدمغتنا مسلَّكة بحيث نرى نظاماً، ولكن نحن أسرى أجهزتنا العصبية، المبتلاة بالعصب الذي يعرف متى نرى الحقائق هناك في الكون ومتى نقوم فقط بابتكار مباني متقنة.

على الرغم من تدقيقات وتوازنات المنهج العلمي، فإن هذه الفوضى الحتمية تمتد إلى المختبرات إضافة إلى الكيڤات، والمورادات، والكنائس، والكاتدرائيات. فبعد سنوات من الإثارة الأولية حول الانصهار على البارد الذي تحول إلى سخرية في معظم الأنحاء، يُصِر عالم متقاعد في لوس ألاموس على أنه من بين تلك القلة الذين كرروا تجارب الكيميائيين: ستانلي بونس ومارتن فلايشمان، اللذين استحضرا طاقة نووية من جرة ماء. وقد فشل معظم المجربين الذين حاولوا أن يكرروا تجربة الانصهار على البارد، ويواصل معظم المنظرين إعلان أن الانصهار، أي الطاقة التي تزود الشمس والنجوم، لا يمكن أن تشتعل بدرجة حرارة الغرفة. ولكن قلة من المؤمنين ما يزالون يصرون على أن هناك شيئاً ما يحدث في دوارقهم.

وفي زاوية أخرى من المختبر، يكافح العلماء مع صرح أكثر احتراماً بكثير يسمى نظرية الأوتار، التي يُظَن

---

١ من أجل تحليل ممتع للفيستا، انظر Symbol and Conquest: Public ritual and Drama in Santa Fe, New Mexici لـ Ronald Grimes - من أجل تحليل ممتع للفيستا، انظر Symbol and Conquest: Public ritual and Drama in Santa Fe, New Mexici لـ Ronald Grimes

فيها أن فوضى الجزيئات التي يولِّدها العلماء كل لحظة في مسارعاتهم هي نغمات مختلفة تعزفها أوتار متناهية الصغر، تهتز في عشرة أبعاد. فهل هذه فيزياء، أم رياضيات صرفة، أم أنه لاهوت، كما يصر بعض المنتقصين؟

إن بعضاً من أفضل الفيزيائيين في العالم، بمن فيهم موري جيلمان، يعلقون الأمل على أن نظرية الأوتار ستستخدم يوماً ما لربط علم فيزياء الجسيمات وعلم الكونيات في رزمة واحدة، تشكل الأسطورة النهائية للخلق. ولكن، يعرفون أنه من الضروري أن يتقدموا بحذر. وسنتافي تعج بمن يذكِّر بما يمكن أن يحدث عندما يصبح البحث عن النظام غاية في حد ذاتها. ففي متاجر العصر الحديث في المدن، يمكن للمرء أن يشتري كتباً سحرية مليئة بمعرفة سرية يعاد تدويرها من جيل إلى جيل منذ القرون الوسطى. وفي هذه التعقيدات الباروكية، ترن الكواكب بالألوان التي ترن بالبلورات التي ترن بالأرقام، وكلها تتبادل طاقات لا يمكن اكتشافها حتى بأكثر الأجهزة حساسية في لوس ألاموس. إن اللافتات التي تعلن عن أطباء الأعشاب، والأطباء النفسيين، والمنجمين، وأطباء المعالجة المثلية تملأ الشوارع التي تتفرع من ساحة المدينة. وتحمل الصحف إعلانات عن طبيبة في الجراحة النفسية، تقول إنها تستطيع أن تعالج دون ألم أمراض المرء بتطبيق مشرطها على البديل الروحي لجسده في غرفة عمليات على المستوى الأثيري.

في مساء يوم ربيعي، قبل فترة ليست بعيدة، وقف ستيوارت كوفمان، وهو بيولوجي من معهد سنتافي، في رتل لكي يستمع إلى الدالاي لاما وهو يخاطب حشداً من أربعة آلاف شخص تجمعوا وقوفاً في غرفة في ملعب رياضي في المدرسة الثانوية في سنتافي. تذكر، وهو ينظر إلى المستمعين الذين اجتُذِبوا من عقائد روحية متضاربة، أنه قضى بعد ظهيرة جدية في مناقشة العلم مع اثنين من الحائزين على جائزة نوبل (عالم الاقتصاد كينيث أراو وعالم الفيزياء فيليب أندرسون، الذي يطير بشكل متكرر من ستانفورد وبرنستون لكي يزور معهد سنتافي)، وفي المساء يتناول طعام العشاء مع جارين: معالج بالبلورات ومخدِّد، يعتقد أنه يمكن الاتصال بالميت. ومع أنه تشبث بقوة بتقليد العقلانيين، فإن كوفمان نفسه كان يعمل على تخوم علم البيولوجيا. فعلى مدى السنوات القليلة الماضية، كان يحاول، هو وبعض زملائه في معهد سنتافي، أن يبتكر نسخة أقل تشاؤماً لنظرية داروين في التطور، فيها تشترك المبادئ الأساسية للتعضية الذاتية مع شكل مختلف وانتقاء عشوائيين لتوليد النظام الذي نراه في العالم البيولوجي. وقد ذهب بعض زملاء كوفمان، من أمثال بريان غودوين، وهو زائر منتظم من انكلترا، إلى أبعد من ذلك، عندما أنكروا أن يكون الاصطفاء الطبيعي مسؤولاً إلى حد بعيد عن البنية البيولوجية؛ وشددوا على أن النماذج في العالم الحي ليست مفروضة من الخارج بضغوط داروينية، ولكنها تُولَّد من الداخل، لأن المتعضي يمتثل لقوانين داخلية خاصة به. والدرس المستخلص من كل هذا هو أن الحياة التي نعرفها يمكن ألا تكون رمية من غير رامٍ، بل شيء متوقع–أي نحن "في بيتنا في الكون،" كما يحلو لكوفمان أن يقول.

إن فكرة أن التطور يُصاغ، بدرجة مهمة، بواسطة تناغمات خفية هي لعنة بالنسبة لمعظم علماء البيولوجيا. ولكن منذ استأجر توماس أديسون الأرض في جبال أورتس، مباشرة جنوب سنتافي، على أمل استخدام الكهرباء في استخلاص الذهب من المعدن الخام، أصبحت نيومكسيكو الشمالية كملاذ لمحطمي الصور والتماثيل الدينية.

وفي شركة بريدكشن، التي تقع في الجانب الآخر من طبيب الأعشاب في وسط مدينة سنتافي، يقترف الفيزيائي السابق من لوس ألاموس، دويين فارمر، وزميله نورمان بيكارد هرطقتهما الخاصة. ومعظم علماء الاقتصاد يعتبرون أن التموجات اليومية في الأسواق المالية هي، في الأساس، نزهة عشوائية، لا يمكن التنبؤ بها. ولكن معظم علماء الفيزياء في شركة بريدكشن يعتقدون أنه يمكنهم استخدام الحواسيب والرياضيات بالنسبة للأنظمة الإلهية الخفية في الخطوط المتعرجة لتموجات العملة وأحياناً، كما يأملون، للمعدل الصناعي لداو جونز. ويحلمون أن يتغلبوا على السوق ويحققوا نوعاً من الاستقلال المالي الذي سيسمح لهم باستكشاف المسائل التي أغفلها طويلاً التيار السائد للعلم. وفي اليوم التالي لزيارة الدالاي لاما، جلس فارمر في مطعم على طريق كينيون في سنتافي يشرح الحاجة إلى قانون جديد للفيزياء–نوع من عكس للقانون الثاني للديناميات الحرارية–يوضح لماذا ينشأ التعقيد. وأحياناً، يقبل فارمر حتى ما يعتبره معظم الفيزيائيين هرطقة مطلقة: الإيمان بأن الحوادث الكمومية قد لا تكون عشوائية في الواقع، ذلك لأن المرء إذا تطلع بعمق كاف، فإنه سيكتشف نظاماً خفياً.

منذ بدأ الناس يحدقون في السماء، راحت كمية غير مهمة من ضوء النجوم تسقط في أعيننا وآلاتنا. ولكن، من تلك الإشارة الضئيلة قدّرنا كوناً، فيه المجرّات الكبيرة التي تدوّم لولبياً تجتمع لتشكل عناقيد مجريَّة وعناقيد عناقيد ضخمة جداً نطلق عليها أسماء مثل الجاذب الأكبر والجدار الأكبر. ونتحدث عن كويزرات quasars عند حافة الخلق تصب طاقة من ترليون نجم، وعن ثقوب سوداء لا يُسبَر عمقها تلتهم الضوء. وعندما نُسأَل كيف بدأ ذلك كله، فإننا نسرد قصة انفجار حدث قبل حوالي ١٠–٢٠ بليون سنة، وخلق كل المادة والطاقة وحتى الأبعاد–الزمان والمكان–التي تتوسع فيها. انفجار قوي جداً، كما يقال لنا–إلى درجة يمكن معها أن نكتشف وميضه اللاحق في فحيح تلسكوباتنا اللاسلكية ووسط الثلج على شاشات تلفزيوناتنا.

ولكن، نحن كائنات متناهية نتأمل اللامتناهي، فهناك دائماً خطر تشوش خرائطنا بالواقع نفسه، ورؤية نظام أكثر مما هو موجود فعلاً. والنمط القياسي، أي نظريتنا في المادة والطاقة، يُبنى من جسيمات–كواركات موري جيلمان–التي، وفقاً لمبادئ علم الفيزياء ذاتها، لا يمكن أبداً عزلها وملاحظتها مباشرة. فالانفجار الكبير، بتواشجه مع النمط القياسي، هو نظريتنا في الكوزمولوجيا. ولكن الانفجار الكبير لا يمكن أن يفسر البنية التي نراها من حولنا–المجرات وعناقيد المجرارت–ما لم نضع افتراضات مساعدة، وأهمها الافتراض القائل إن معظم الكون–وربما كله تقريباً–مصنوع من شيء ما يدعى المادة المظلمة، التي يمكن الاستدلال عليها ولكن لا يمكن رؤيتها.

ويسارع العلماء إلى محاولة إثبات أن هناك أرجحية لدليل غير مباشر على وجود الكواركات والمادة المظلمة. فلماذا يجب أن يكون الكون مصنوعاً فقط من المكوّنات التي دوزنت عيوننا لرؤيتها بمساعدة آلاتنا؟ ولكن لماذا يجب أن يكون الكون، بسبب تلك المادة، مفهوماً لنا بأية حال؟ هل نحن نقوم فقط بملء الثغرات في نظريتنا الناقصة، مدفوعين بإيماننا بقدرة الدماغ على النظر إلى جوهر الخلق؟ وهل الكواركات والمادة المظلمة هي مكتشفات أم اختراعات، مصنوعات جوع الدماغ إلى التناسق؟

في أي من إبداعاتنا الرائعة، يمكن أن يكون هناك صدوع في الأسس، أي بيئات ملائمة يمكن أن تنمو فيها

هرطقات. وعن طريق قلب النُّصُب التي تنبثق منها الصور الجديدة للكون، تأتي الأورثوذكسيات الحديثة التي ستشكل صدوعها نماذج مختلفة. وما إذا كان هناك أمل بتقارب لا عرضي حول شيء ما يسمى حقيقة يعتمد على ما إذا كان المرء يؤمن، كأفلاطون، أن الرياضيات والقوانين الطبيعية موجودة في حد ذاتها ولذاتها على مستوى أثيري ما، أو ما إذا كان يؤمن بأنها مبتكرات بشرية–في أحسن الأحوال، نقطة تقاطع بين الحالة التي يوجد فيها العالم والطريقة التي صدف وتطورت فيها أجهزتنا العصبية.

في *الزِّنِّيَّة وفن صيانة الدراجات البخارية*،[١٤] يجلس فيدروس، مؤلف *الأنا الثانية* عند *روبرت بيرسچ*، في غرفة في موتيل في الغرب، يشرب الويسكي مع رفاق سفره ويستمع إلى ابنه كلايس، يسرد قصص الأشباح. "هل تؤمن بالأشباح؟" يسأل كريس أباه. "لا،" يقول فيدروس. "إنها لا تحوي مادة ولا تملك طاقة، ولذلك، ووفقاً لقوانين العلم، فإنها غير موجودة إلا في عقول الناس." ثم يتوقف ويفكر: "طبعاً، إن قوانين العلم أيضاً لا تحوي مادة ولا طاقة ولذلك فهي غير موجودة إلا في عقول الناس."

إن العلم، بدفعه إلى هذه الحافة، يرتد غالباً إلى الأفلاطونية. هنا، على الأرض، قد لا يوجد شيء مثل دائرة تامة، ولكن نميز أشكالاً تقريبية لأننا نملك، بطريقة ما، مدخلاً إلى الدائرة التامة، وهي فكرة خالصة موجودة في عالم بلازمي خارجي منفصل. ولهذا نُترَك مع ثنائية بين العقل والمادة، والأفكار والأشياء.

بما أن بعض تابعي علم فيزياء المعلومات لوحقوا في لوس ألاموس، وسنتافي وأمكنة أخرى، فإنهم اقترحوا طريقة لإقامة جسر فوق الحد الفاصل: يقولون إن قوانين الكون ليست أثيرية، بل فيزيائية–صُنعَت من هذه المادة التي تسمى معلومات، واحدين وأصفاراً لشيفرة ثنائية. وهكذا يحاولون قلب العلم على نفسه واستخدام نظرية المعلومات لفهم أين تقع قوانين الفيزياء (في كلا معنيي الكلمة–أين تقيم وما حدودها). فإذا كانت المعلومات فيزيائية كالمادة والطاقة، وإذا كانت الأفكار والرياضيات تُصنَع من معلومات، عندئذٍ، ربما تكون متجذرة في العالم المادي. ولكن ثمن نفي الصوفية الأفلاطونية يمكن أن يكون دوامة مرجعية ذاتية مدوِّخة: قوانين الفيزياء تُصنَع من معلومات؛ والمعلومات تسلك وفقاً لقوانين الفيزياء. كل شيء يبدأ بالترائي كالأشباح.

اكتفى العلم لوهلة بشرح **كيف** الوجود، تاركاً **لماذا** إلى الدين. على الأقل، ذلك ما تعلمناه في المدرسة. ولكن، في الفصل الأخير من الألفية، يبدو أن العلم في أنحاء العالم قد تجاوز قيوده القديمة المفروضة ذاتياً. فمع توحيده الرائع للنظريات والبرامج الكوزمولوجية، فإنه يبحث عن أجوبة أساسية جداً تقارب اللاهوت. لماذا يكون هناك شيء بدلاً من لا شيء؟ لماذا يبدو كأن الكون يعمل وفقاً لقوانين الرياضيات؟ ما الوعي؟ هل هو نتاج صنعي، أو صدفة تطور، أو شيء محوك عميقاً في أساس الكون؟ ولكن عندما أصبحت كاتدرائياتنا العلمية أعظم، أصبح اختبار الأفكار أكثر صعوبة؛ وازدادت أكثر فأكثر صعوبة معرفة ما إذا كان النظام الذي نراه حقيقياً. وهل المعلومات أساسية في الواقع، أم أنها مجرد نتاج صنعي للأدمغة التي تُعرِب الكون بطريقتها الخاصة المميزة؟ وهل التعقيد ينشأ بشكل معاند، أم أن المفهوم مجرد ابتكار بشري؟ يقرأ المرء تكراراً حول كيف أن الدماغ البشري هو الجهاز الأكثر تعقيداً في الكون المعروف. ولكن الدماغ هو الذي يصنع هذا الحكم غير المتواضع، رافعاً نفسه ورافعاً التعقيد–أياً كان–إلى ذروة الإبداع. يمكن أن نكون كسمكة تصعد ضد حافة

---

[١٤]-نجد اقتباس Robert Pirsing في الصفحتين ٣٨ و٣٩ من The Morrow Edition of Zen and the Art of Mororcycle Maintenance.

الحوض المائي؛ فالأشكال والألوان التي تبهرنا يمكن ببساطة أن تكون انعكاساتنا الخاصة التي شوهها الزجاج.

العالم حول سنتافي، بعلمائه التقليديين والهرطقيين، وثقافاته الفرعية القديمة والحديثة، هو، بوجه خاص، جزء مهم من الحوض المائي. والتوترات التي تركزت بين الجبال الأربعة السحرية في نيومكسيكو تنتشر في كل نواحي الثقافة الغربية. إن هذه العاطفة من أجل نظام كلي الشمول، هذه النار الدماغية المتقدة، هي لا شيء أقل من قوة دافعة للإنسانية، روح توحيدية تنتشر عبر القارات وطوال الزمن. فالغنوسطيون يعتقدون أن العقل كان شبيهاً بلهب، ومضة واهنة من ضوء النجوم احتُبِلَت داخل الجسد الأرضي. ولهذا فهم ينظرون إلى أعلى، يتوقون إلى اليوم الذي يستطيعون فيه الصعود من هذا السجن كروح طاهرة، وفهم خالص، متدفقين نحو السماء.

ويحدق الفيثاغوريون في الفوضى من حولهم ويصرون على أن كل شيء يُصنَع من عدد؛ والأزتيك يقطِّعون إلى شرائح كوزمولوجيتهم على قرص من حجر؛ والسكان الأصليون في أستراليا يستهدون في رحلاتهم بخرائط خفية يسمونها سونچلاينز؛ وباراسيلسوس، بجهازه المعقد، يربط مرض الجسم بحركات النجوم؛ والفلاسفة المدرسيون يتأملون كونهم المركب من كرات بلّورية متراكزة– أينما نظرنا، نشاهد اللهب الذي يدفع إلى البحث عن علم يعلل ليس فقط سبب كون الكون على ما هو عليه، ولكن ما سبب وجودنا فيه؛ ولماذا، من خلال ما يبدو سلسلة لا تُصدَّق من المصادفات، نجلس هنا ككائنات واعية تكافح لكي تفكر بالكل.

في نيومكسيكو، تعيش جنباً إلى جنب مع العلماء، الذين يرون أنفسهم على محيط اتساعي لفقاعة المعرفة، ثقافات ما تزال معتقداتها القديمة تحتفظ بالشرارات الأولى للَّهب البروميثيوثي.[١٥] فأحفاد الأناسَزي الذين يرقصون في الرنين مع الفصول، والمتشددون بمحاولاتهم التنبؤ بالمستقبل من خلال تفسير التوراة، والفيزيائيون والبيولوجيون ببحثهم عن تناغمات خفية، كلهم يحاربون على الخلفية الروحية نفسها. والكل يحاول أن يفهم التعقيد الساحق للحياة، والانسجام مع حقيقة أنه، على الرغم من خططنا المحكمة كلها، ما نزال نقارع بالاحتمال والصدفة. وتحاول كل واحدة من هذه الثقافات، بطرق مختلفة، أن تستبدل العشوائية بالنظام، تنسج شبكات من الشعيرة والعقل، في محاولة لإقناع نفسها بأننا إذا كنا فعلاً لا نعيش في مركز الخلق، فإنه يمكن، على الأقل، أن نفهمه–أي أن هناك مبرراً للاعتقاد بأن العقل البشري يمكن أن يخترق الدرع الكونية. وكل منها يحاول أن يجيب عن السؤال: لماذا نحن هنا، كنوع، وكمجتمع، وكأفراد. فنحن، في كلا العلم والدين، نسعى إلى خلق أساطير، وحكايات تعطي لحياتنا معنى.

تبدو نيومكسيكو الشمالية مكاناً مثالياً للبحث، بالنسبة إلى أولئك الذين يقفون أمام الكاتدرائيات الوهمية للعلم بمزيج من الذهول والشكوكية، إنما يجدون شيئاً من الإشباع في القوالب الأخرى للإيمان الذي يتقاطع متصالباً على الأرض. فالوضوح المخيف للنجوم هناك، يغري المرء بالنظر صعوداً والتعجب من الصور التي رسمها العلم للسماوات. والتربة التي مزقتها الرياح، غير المضيافة للحياة التي تظهر من خلالها عظام الجيولوجيا، تغري المرء بالتحديق نزولاً إلى الأرض وإلى الصخور بالذات، والعجب من الدوائر المتراكزة للمادة–كواركات داخل نُوى داخل جزيئات–التي رسمناها لتمثيل هذا العالم الخفي. فالوقوف بين الأرض والسماء، في لوس ألاموس وسنتافي، حيث يعيد الناس التفكير ببعض المعتقدات الأساسية أكثر للعلم، يغري المرء بالتحديق داخلياً

---

[١٥]- نسبة إلى بروميثيوث، الذي سرق النار من السماء وعلم البشر كيفية استخدامها-المترجم.

ويتساءل ما إذا كان يمكن رسم الخرائط بصورة مختلفة، لو كانت هناك وسيلة أو أكثر لقطع السماء إلى شرائح.

وأخيراً، أياً كان بناء أجهزتنا، فإنه ليس ضمانة لحمايتنا من السقوط. وعلى قمم هضاب نجد پاجِريتو، قريباً من الهضبة التي تقوم عليها لوس ألاموس، تقع خرائب تسانكاوي،[١٦] وهي واحدة من المدن الحجرية المهجورة التي يعتبرها السَّان آيْدِفونسو بيوت أسلافهم. وأحياناً، بعد انهيار غامض للحضارات في شاكو كينيون ثم في ميسة فيردي عام ١٣٠٠ م، بنى الأناسَزي هذه المستوطنات الأصغر على نجد پاجِريتو ومكان آخر، فقط ليتركوها بعد مئتي عام إلى حياة أكثر بساطة على ضفاف نهر ريو چراند. ويبدو أحياناً أن التعقيد يمكن أن يزداد كثيراً فقط قبل أن ينهار، وقد لا يبلغ أبداً ذراه المرتفعة مرة أخرى.

إنها نزهة قصيرة إلى قمة هضبة تسانكاوي، على امتداد مسلك مطروق كثيراً حتى أن آثار الأقدام، في بعض الأمكنة، حفرت في الحجر أخدوداً بعمق قدم. والهضبة، التي تشبه كعكة عرس مؤلفة من طبقات ملونة بالبيج وأخرى بالأبيض تكونت من الرماد المتساقط من بركان جيميز، لينة جداً حتى أن الأناسَزي حفروا حجراتهم في الجوانب الصخرية أو قطعوا الصخر إلى مكعبات لبناء قرى، بعضها تتكون من مئات الحجرات وارتفاع عدة طبقات. واليوم، كل ما يسمعه الواقف على الهضبة هي الريح وصوت الغربان. وكل ما تبقى من تسانكاوي هو تلال من صخور مطمورة حيث كانت المباني تقوم يوماً، ومنخفضات ضحلة حيث انهارت الكيفات منذ وقت طويل مضى. وتتضمن الهندسة كل شيء ولكن تفككت إلى تراب، تاركة فقط للنمال إنشاء مباني جديدة.

وعلى السطح الجنوبي للهضبة المشبع بالشمس، ما يزال السخام على سقوف المساكن الكهفية، والصخور، في كل مكان، المحفورة بالنقوش كالجوّابة،[١٧] والديوك الرومية، والطيور الصغيرة (باجاريتاس بالأسبانية)، وحلزون عرضي. وتبدو بعض الصور في شكل رجل ينحني إلى أمام، يعزف الفلوت، وهو المخلوق كوكوبيلي، كما يسميه الهوبي، وهم أبناء عمومة التيوا في الغرب. ونقشُ إنسان بخطوط تشطأ من قمة رأسه يبدو مثل مهرجي سانتو دومينچو، وهي قرية هندية جنوب سنتافي، الذين يطلقون شعرهم مزخرفاً بقشور عرانيس الذرة. وتبدو الصور الأخرى مثل مهرجي التيوا بمجساتهم المخططة بالأسود والأبيض. ويبدو بعضها شديد الشبه بالصورة الشائعة للكائنات الخارج أرضية التي يمكن بصعوبة إبعادها من الخيالات المسلية كخيالات إريخ فون دنكن، الذي يحاول أن يثبت في كتبه الرائجة ككتاب *مركبات الآلهة؟*[١٨] أن الأهرامات العظمى والصروح الأخرى المهيبة بنيت بمساعدة غرباء. وكلما نظر المرء أكثر، بدت له المخلوقات التي تزحف خارجة من الصخور أكثر حتى يناله العجب، كالمؤمن في هولمان الذي يرى المسيح على جدار الطوب: ما أكثر النماذج في الصخور، وما أكثرها في رؤوسنا!

وأخيراً، يُواجَه كل منا بمأزق ما: صور نرسمها، أنظمة نبنيها، لا يمكن أبداً أن تشمل تماماً غنى الإبداع وجموحه. ومع ذلك، فإن مواصلة محاولتنا، ونحن نجثم على كوكبنا الصغير، تسليط مصابيحنا الكهربائية إلى الظلام، هي مرض مستوطن بالنسبة لنوعنا.

---

[١٦]-هضبة تسانكاوي هي المخفر الأمامي المنفصل للصرح الوطني في باندلير. ويمكن الوصول إليه بالسيارة من سنتافي باتجاه لوس ألاموس، وبعد سان إلدِفونسو، يصعد الطريق العام إلى قمة هضبة پاجِريتو ويتفرع. فيسلك المرء الطريق العام ٤ إلى باندلير. وبعد أقل من ميل من التقاطع، ينتبه إلى موقف للسيارات إلى تسانكاوي على الجانب الأيسر (يبقى الصرح الرئيس على بعد ١٢ ميلاً على الطريق النازل.)

[١٧]-طيور أمريكية سريعة-المترجم.

[١٨]-Chariots of the Gods? Unsolved mysteries of the Past لـ Von Däniken، ترجمه Michael Heron.

الفصل الثاني

عمق الذَّرَّة

في عام ١٥٤٠، بعد أن احتل كورونادو وجنوده نيومكسيكو من المملكة إلى الجنوب،[١٩] بحثاً عن المدن الذهبية السبع في كيبولا واكتشاف قرى هنود الزوني بدلاً منها، انطلقت حملة من جنوده باتجاه شمال غرب إلى أقصى ما استطاعت، حتى توقفت مسيرتها فجأة عند ذلك الأخدود الذي يبلغ عمقه ميلاً في الأرض الذي نسميه اليوم الوادي الكبير. انكشفت الأرض تحت أقدامهم مظهرة طبقات التاريخ التي يركبون فوقها. ولم تسجل الصحف عن الحملة ما دار في أذهانهم وهم يحدِّقون بتلك الشرائط من زمن متحجر. ودون نظرية تشرح ما يمتد أمامهم، فإنه من المرجح، كما يبدو، أنهم اعتبروا الوادي كعقبة، سلسلة جبلية معكوسة، سواء أحبوا ذلك أو كرهوا، عيَّنت الحد الشمالي الغربي لعالمهم الجديد.

انقضى حوالي ثلاثة قرون قبل أن يتزود الناس بالعدسات المفاهيمية التي نستخدمها اليوم لكي نفهم مشهداً ساحقاً جداً كهذا. في الواقع، كان هناك، وما يزال، مجموعتان من المشاهد الجيولوجية، تُؤَسَّس عدساتها وفقاً لما يعتبره المرء أكثر قداسة: دقة سفر التكوين أو سرمدية القانون الطبيعي.

بالنسبة للمسيحيين الأصوليين، فإن الحقبة المُراكمة للأجيال في الكتاب المقدس–مواليد العهد القديم–لا تعطي للعالم أكثر من ستة آلاف سنة. وبالنسبة لأولئك الذين تفرض عليهم الأسفار المقدسة الاعتقاد بكوكب حديث جداً، ولكنه عظيم، فإن كوارث مفاجئة يمكن أن تخلِّف جرحاً عميقاً جداً؛ ويُتَّخَذ الوادي الكبير كدليل للطوفان العظيم، وتعتبر المستحاثات المطمورة في طبقاته كبقايا للضحايا التي لم تصعد إلى سفينة نوح.

لا شك في أن الكوارث يمكن أن تحدث نتيجة لأسباب طبيعية–تأثير نيزك، مثلاً–ويعتقد بعض القائلين بنظرية الكوارث أن الجيولوجيا التي نجدها تحت أقدامنا تكونت عن طريق سلسلة من هذه الجوائح. ولكن، في مطلع القرن التاسع عشر، بدأ الافتراض بأن الأرض التي نراها تشكلت من كارثة إثر كارثة يصدم الكثير من العلماء على اعتباره اعتباطياً إلى حد مرعب–افتراض غرضي لتراكم فوق آخر. وراحوا يفضلون الاعتقاد بأن الشرائط الجيولوجية لم يشكلها الطوفان الكبير، أو حتى سلسلة من الكوارث، بل القوى التدرجية نفسها التي تواصل عملها حتى اليوم: الحت، الترسب، الانضغاط. تطلبت هذه الرؤية قفزة إيمانية في اتجاه مختلف. فبدلاً من الكوارث العشوائية (أو المقدرة)، أصبح المرء مجبراً على افتراض وجود زمن جيولوجي شاسع. ومن خلال هذه المشاهد، نرى اليوم الوادي الكبير الذي توضعت طبقاته على مدى مئات ملايين السنين وتكشف فقط الملايين العشرة الماضية من السنين، عندما بدأ نهر كولورادو يشق طريقه.

بالعوم على مياه نهر كولورادو بواسطة رمث من جوار بيج، في أريزونا، حيث الوادي ضحل جداً إلى درجة أن المرء يمكنه أن يغامر بقيادة السيارة إلى حافة الماء، يستطيع المستكشف أن يتتبع التدرج الجيولوجي للأرض، مختصراً ما نؤمن به حول حقبة عصر الباليوسين المبكر إلى رحلة لعدة أيام. في المرحلة الأولى من الحملة، يمكن للمرء أن ينزلق إلى ما بعد الطبقات البِرْمِيَّة العليا، التي ترسبت قبل حوالي ٢٥٠ مليون سنة (الطبقات

---

[١٩] -وُصِفَت مغامرة كونورادو في العديد من كتب التاريخ، بما فيها كتاب Conorado: Knight of Pueblos and Plains لـ Eugene Bolton.

الأحدث تأكّلت): حجر الكيباب الكلسي، الذي يتكون من بقايا أصداف وهياكل عظمية لحيوانات كانت تسبح في بحر انتهى منذ أمد طويل؛ وحجر الكوكونينو الرملي، الذي تكوَّن من صحراء تصلبت إلى صخر؛ ومسطحات طينية متحجرة تسمى الطين الصفحي للناسك. وفي اليوم الثاني من الرحلة، يبدو العصر البِرْمي مرتفعاً مع هبوطنا مئة مليون سنة أخرى، خلال الطبقات الأقدم، البنسلفانية والمسيسيبية: شرائط سوباي الحجر الرملي الذي يتناوب مع الحجر الغريني المتوضع فوق حجر الرِّدْوول الرملي–بحر أكثر تحجراً. وبعدئذٍ، تأتي الطبقات الكمبرية بعمر نصف بليون سنة: طين الملائكة الصفحي الزاهي (مسطحات طينية أكثر قدماً) وحجر التابييت الرملي (مرة أخرى، صحراء). وبعد خمسة أيام، يكون الرمث على عمق ميل تحت سطح الأرض، مجتازاً الصخر الأسود اللا طبقي في خانق داخلي عمره بليون سنة: شِسْت فيشنو–حجر رملي، وطين صفحي، وحجر جيري تبدل شكله تقريباً تحت تأثير الضغط والزمن، وتشوه والتوى تحت الثقل الصافي لدعم كل هذه الطبقات.

يبدو البليون سنة أمداً طويلاً جداً، ولكنه أقل من ربع العمر المقدر للأرض. وربما كانت هذه الطبقةُ السفلية ما قبل الكمبرية المشوهة قبل تحولها، كالرسوبات فوقها، المخططة بالصحارى والمحيطات، حقولَ دفق بركاني منتظمة تقريباً، وهي بقايا الجبال التي ارتفعت ثم انخفضت–حقب من تاريخ ضائع مضغوط في هذا الصخر الأسود المشوه تقريباً.

نعتبر هذه الحقيقة دليلاً في ذاتها: كلما حفرنا عميقاً، فإننا نعود فترة أطول في الزمن. ولكن الطبقات الجيولوجية لا تتصرف دائماً بصورة حسنة جداً. فأحياناً، يتوجب علينا أن نتسلق جبلاً لزيارة الماضي. ومن ليك بيك في جبال سانچر دو كريستوس، على ارتفاع ١٢٤٠٠ قدم، يمكن أن ننظر نزولاً إلى كامل الكون المحفور في جبال التيوا الأربعة السحرية. ووفقاً لعدد من الهنود الحمر، فإن ليك بيك (يسميها الآخرون تروتْشِس بيك) هي الجبل المقدس الشرقي. وداخل هذا الجرف الغرانيتي تستكنُّ بحيرة نمبه، المقدسة لدى هنود النمبه، الذين يعيشون في قرية عند قاعدة الجبل. ويمكن أن تكون ليك بيك هي الحافة الميثولوجية لكون التيوا، ولكن إذا وقفنا فوقها واستدرنا ١٨٠ درجة، لاستطعنا أن نرى عالماً أبعد–شرق الجبل الشرقي الأقصى، حيث حمل طريق سنتافي الأمريكيين الذين انتزعوا السيطرة من المتطفلين الأقدم الذين جاؤوا إلى ريو چراند. وإذا نظرنا إلى الغرب، إلى ما بعد جبال جيميز، لاستطعنا أن نرى فوقها مملكة النڤاجو، محددة بجبالها الخاصة الأربعة. فمن هذا الموقع المناسب على جبل سانچر دو كريستوس، نرى أكواناً في كل مكان من حولنا. وعلى مسافة ميل جنوب ليك بيك، في أعلى تسكيو بيك، توجه أبراج الميكروويف رسائلها نحو التلسكوبات العاكسة على سنديا كريست التي توجهها إلى المزيد من العوالم بعدها.

إن حد الصخور السكيني الذي يشكل ليك بيك وكل جروف سانچر دو كريستوس هو چرانيت ما قبل كمبري، من الطبقات الجيولوجية نفسها التي توجب على كولورادو، لكي يبلغها، أن يحفر ميلاً واحداً وعشرة ملايين سنة. كانت ليك بيك وجواراتها موجودة قبل أن يكون هناك واد كبير بوقت طويل. ووفقاً لنظرية تكتونية الألواح–مخطط تنظيم مهم بالنسبة للجيولوجيا كأهمية الانفجار الكبير بالنسبة للكوزمولوجيا والاصطفاء الطبيعي بالنسبة للبيولوجيا–فإن هذا الانقلاب الغريب حدث كما يلي: قبل حوالي سبعين مليون سنة، تحطم اللوح الأمريكي الشمالي، وهو قشرة من الصخر كانت تطفو في أعلى بحر غطاء لزج، إلى مساحة أخرى واسعة من الأرض

سميت لوح فارالون وسبب التأثير تغضن السلسلة ببطء، مما كوَّن في النهاية جبال روكي. ويشكل سانجر دو كريستوس قمتها الجنوبية. وكانت صخور ما قبل الكمبري قد اندفعت من الأسفل لتشكل جبال نيومكسيكو الشمالية التي ترتفع إلى ١٢-١٣ ألف قدم: ليك بيك، وتسكيو بيك، وسنتافي بولدي، وبيكوس بولدي، وتروتْشِس بيك-كلها تكونت من الجرانيت (وهو ليس أكثر من صهارة متصلبة)، تعلوه طلية من رسوبات ترسبت فيما بعد من بحار مسيسيبية وبنسلفانية. وعملت الأنهار الجليدية من العصر الجليدي فيما بعد على بري الذرى، مخلفة بحيرات تعكس الصخور والسماء.

عند قدم هذه السلسلة الجبلية يقع القفر الأحمر المنحتّ لأراضي سبنيولا السيئة، المنقطة بمجموعات من البنيون[٢٠] والعرعر التي تكتظ باتجاه الغدران كالأيل في بحثه عن الماء. إن هذا المشهد الحتِّيّ الوعر كان قد تشكل من رمال ترسبت بواسطة نهر ريو جراند قبل عشرة ملايين سنة، وهي فترة بالنسبة للجيولوجيا كأمس بالنسبة لنا. وإذا هبطنا من ليك بيك إلى هذه التشكلات الأحدث ونظرنا إلى الأعلى حيث كنا نقف، لوجدنا أن الماضي يشمخ فوق رؤوسنا-العالم انقلب رأساً على عقب.

ربما كانت المخلوقات الأقل خيالاً من الإنسان مطمئنة إلى الاعتقاد بأن الأرض هي اليوم كما كانت دائماً. ولكن قلما نجد دليلاً على تغير جيولوجي في مدى الحياة البشرية، أو حتى في مدى حياة الحضارة. يثور زلزال، أو بركان عرضي هنا أو هناك-يشوه سطح اليابسة بطريقة أخرى. ولكن عندما نرى نماذج المشهد حولنا، فإننا نجد أنفسنا مدفوعين إلى تفسير كيف انتهى إلى ما هو عليه. وبسرعة، يكتسب ما نسلم به جدلاً، السطح الصلب الذي نتجول فوقه، غرابة جديدة. ويمكن أن نقف على قمة جبل ونَعجَب لما يقوله الجيولوجيون لنا حول أن هذه القمة كانت يوماً قاعاً لبحر قديم.

أي مكان ننطلق منه أفضل من الجيولوجيا، عندما نحاول فهم كيف يكتشف العلم النظام في الفوضى المحيطة؟ فاكتشاف الطريقة التي قام فيها العلم بتجزئة العالم الفيزيائي-الجبال إلى معادن والمعادن إلى جسيمات-سوف يؤدي بسرعة إلى أفكار مجردة أكثر بساطة، عالم أنماط أكثر مراوغة إلى حد أنه لا يمكن تحليل بعضها إلا بواسطة العدسات الرياضية الأكثر دقة. نبدأ بحثنا وأقدامنا على الأرض، ولكن سوف نكتشف أن شيئاً يبدو صلباً، كالجيولوجيا، هي نسيج من افتراضات بارعة حيكت من خيوط تقود عميقاً إلى تعقيدات علم فيزياء القرن العشرين.

كيف نستطيع، نحن أسرى رؤية للعالم لا يزيد عمرها عن بضع مئات من السنين، أن نتحدث بمثل هذه الثقة الكبيرة عن أعمار الأرض؟ إن تحديد عمر نسبي يبدو بسيطاً تقريباً: من البديهي الافتراض أن الطبقات الأحدث من الصخور، إذا ظلت دون تشوش، سوف تتوضع فوق الطبقات الأقدم؛ وأنه عندما نجد تشكلاً واحداً يشق طريقه من خلال تشكل آخر، فإن التشكل المتطفل يجب أن يكون هو الأحدث. ولكن ما أن نحاول معايرة الساعة-تحديد الأعمار المطلقة-حتى نغادر عالم البداهة والوضوح. وفجأة، يجب أن نستنجد بشبكة كثيفة من التخمينات والمعتقدات المبنية على المعلومات. ووفقاً لنظرياتنا في الاضمحلال الذري، فإن بعض الذرات-النظائر المشعة-تكون ثقيلة الرأس جداً بالنيوترونات حتى أنها تتفكك تلقائياً إلى أشكال بسيطة أكثر ومريحة

[٢٠] صنوبر أمريكي-المترجم.

أكثر. ومع أن نظرية الكم تقول لنا إنه من المستحيل التنبؤ بالتوقيت الذي ستتفكك فيه ذرة واحدة–يحدث هذا عشوائياً–فإنه يمكن القول بشيء من الثقة ما سيفعله حشد كبير من النُّوى. ومع الشكوك الموزعة بالتساوي على ملايين الذرات، يمكن أن نحسب احتمالية أن كتلة العناصر الأمهات ستتفكك إلى عناصر بنات أبسط، سالكة طريقها إلى أسفل الجدول الدوري بخطو سريع ثابت: اليورانيوم إلى رصاص، والبوتاسيوم إلى أرغون، والروبيديوم إلى سترنشيوم. والصخور، على خلاف الكائن الحي، تقدم بعض التلميحات إلى عمرها. ولكن يمكن أن نقيس نسبة العناصر الأمهات إلى العناصر البنات. وبعدئذٍ، إذا وضعنا في اعتبارنا السرعة التي نظن بها أن عنصراً تحول إلى عنصر آخر، نستطيع أن نخمن عمر الصخور، أو، على الأقل، مدى الزمن الذي انقضى منذ تبردت وتصلبت بما يكفي لاحتجاز العناصر الواشية في داخلها.

ولكن، كيف نعرف أن العنصر البنت الذي نقيسه نتج، في الواقع، من تفكك ذري لعنصر أم؟ فإذا كان هناك سابقاً بعض من عنصر بنت في الصخر عندما تشكل، فإنه سوف يضلل النسبة التي نستخدمها لقياس عمره. وسيبدو لنا الصخر أقدم مما هو في الواقع. والجيولوجيون، باعتمادهم على طبقات النظرية التي أقاموا عليها فرع معرفتهم، يحاولون تخيل حالة أولية للصخور التي يؤرخون لها وأية تغيرات يمكن أن تكون حدثت لها أثناء وجودها. بعد أن تتشكل الصخرة، يمكن أن تقذف الأشعة الكونية نوى مستقرة، محولة إياها إلى نوى مشعة، مما يضيف المزيد من العنصر الأم ويجعل الصخرة تبدو أصغر؛ ومن خلال الترشيح، يمكن أن تتسرب العناصر الأمهات أو البنات، مشوهة عقارب الساعة الجيولوجية.

في تقدير الزمن الجيولوجي، لا يمكن أن تصمد ملاحظة واحدة بمفردها؛ ويعتمد هذا التقدير على كل الملاحظات الأخرى في النسيج الذي كان قد أُنجِز على مدى سنوات. فإذا أرخينا خيطاً هنا، وشددنا خيطاً هناك، وتكوَّن لدينا انفتال في قماش المعرفة، فإن بقية النسيج يجب أن يُعاد تعديلها لكي يستوي من جديد. وإذا أخذنا صخرة من طبقة وكان لدينا مبرر للاعتقاد بأنها من عمر معين، وينبئنا التأريخ الإشعاعي بأنها أقدم عمراً، عندئذٍ يمكن قذف العينة فوق الكومة المطروحة وصرف النظر عن تلك المعلومة الخاصة بوصفها خطأ تجريبياً، ضجيجاً عرضياً. ولكن إذا وجدنا مجموعة من هذه الصخور، فإنه يمكن أن نكون مجبرين على تعديل افتراضاتنا حول كم كان أولاً عدد العناصر الأمهات والبنات في العينات.

خيطاً فخيطاً عيانياً، توصل الجيولوجيون إلى استنتاج تجريبي بأن عمر الأرض يبلغ حوالي ٤.٥ بليون سنة. وفي الوقت نفسه، يعمل الفيزيائيون، والكيميائيون، والبيولوجيون التطوريون على قطع نسيجهم. أحياناً تتعشَّق المربعات بأناقة، وأحياناً تُخاط مع بعضها بعضاً كمضربية مرقعة. وفي تعارض تجريبي، قدَّر الفيزيائيون، الذين يستخدمون طرقهم الخاصة، أن عمر النصف للروبيديوم (الزمن الذي تستغرقه نصف عينة لكي تتفكك) هو ستين بليون سنة؛ وقال الجيولوجيون إنه يجب أن يكون خمسين مليون سنة لكي يتطابق مع تقنيات التأريخ المعترف بها. نحن ننشئ أفضل ما نستطيع من نماذج. وعندما نكتشف، بشكل محتم، فجوات في التطابق بين نظرية ونظرية وبين الخريطة والأرض، فإننا نضع افتراضات إضافية، أي تعديلات جديدة للشبكة. ففي الوادي الكبير، يبدو أن هناك فجوة ٢٥٠ مليون سنة بين حجر التبيات الرملي والخانق ما قبل الكمبري–يسمى اللا توافق الكبير، وهو تشكل يمكن أيضاً أن نجده في برية بيكوس فوق سنتافي. وأكثر من التخلي عن المقياس

الزمني الجيولوجي الذي أنشأناه بعناية كبيرة، نفترض، لسبب ما، أن كامل الحقب لم تترك شيئاً وراءها، أو أن البقايا قد انحتت بطريقة ما.

في بناء جيولوجيا، قلما تكون بعض المبادئ الأساسية موضع شك: نظرية النشاط الإشعاعي، مثلاً، أو افتراض التجانس—إلى حد أن قوانين الفيزياء لم تتغير على مدى حياة الأرض. يمكن اعتبار هذه القوانين كخيوط تأسيسية للنسيج—أو حتى كنول يُنسَج عليه. يجب التسليم ببعض الأمور. فالصرح الجيولوجي بكامله مشكوك فيه لدى التوراتيين القائلين بخلق العالم، الذين يعتقدون أن عمر الأرض لا يتجاوز بضعة آلاف من السنين. وتعج صحف علم الخلق بالمقالات التي تقبل إمكانية أن الاضمحلال الإشعاعي كان، في العصور القديمة، يحدث بسرعة أكبر؛ وتتفادى المتغيرات بالطريقة نفسها والزمن الجيولوجي الواسع، لا سفر التكوين، هو الذي أصبح وهماً.

كلما حفرنا إلى عمق أكبر، عدنا إلى الوراء أكثر في الزمن. فإذا استطعنا أن نحفر إلى ذرات السِّليكون والأكسجين التي تشكل غرانيت جبال سانچر دو كريستوس، أي إلى ما بعد طبقات الإلكترونات المترسبة حديثاً، إلى النوى الأقدم، ثم إلى البروتونات والنيوترونات الأقدم أيضاً، فإننا سنصل أخيراً إلى صخر القاعدة ما قبل الكميرى للمادة—الكواركات التي حومت حرة في غليان الطاقة في الانفجار الكبير ولكنها اليوم متجمدة بقوة مع بعضها بعضاً إلى درجة لا يمكن فيها أبداً تفحصها كلاً على حدة. وعندما نحفر إلى النواة بمسارعاتنا، التي تحطم الجسيمات بطاقات أقرب وأقرب إلى تلك التي قيل إنها وجدت في اللحظات الأولى للخلق، فإننا نبحث عن مستحجرات ذلك الزمن الأسطوري، أي الجسيمات التي لم تعد موجودة في هذا الكون القارس.

إن محاولة فهم الأجزاء التي تكوَّن منها عالمنا تطلبت قفزات جريئة للخيال وإيماناً بأن علوماً هندسية تكمن تحت السطح الوعر الذي نراه. فأفلاطون، في *تيمايوس*، اقترح أن العالم مركب من متعددات سطوح تامة، أي المجسمات الأفلاطونية الخمسة—رباعيات السطوح، والمكعبات، وثمانيات السطوح، وذوات الاثني عشر سطحاً، وذوات العشرين سطحاً. وبدلاً من ذلك، نحن نتحدث اليوم عن ذرات بوصفها حجارة بناء هندسي، وفي كتب الكيمياء، نتحدث عن تركيب السِّليكا والجزيئات الأخرى التي تجعل الأرض تبدو متماثلة ومبنية بعناية كأشكال أفلاطون التامة.

ولكن الهندسة، كما نجدها في العالم، كثيراً ما تكون غامضة. فإذا التقطنا قطعة من الغرانيت القرنفلي اللون من طريق جبلية، فإننا سنرى فيها إشارات خفية لتدبير داخلي: سطوح مستوية من الميكا والفلسبار، وزوايا وحوافي لما يشبه مكعبات وأهرامات مطمورة، كأن مجسمات هندسية صغيرة كانت تحاول شق طريقها من خلالها. تبدو هذه الأشكال التامة محتبلة في صخر غير مكتمل، كسجناء يكافحون من أجل تحررهم، على غرار تماثيل ميشيل أنجلو نصف المكتملة في أكاديمية فلورنسا.

ويقول الكيميائيون إنه يمكن، في الواقع، اعتبار الجزيئات كمتعددات السطوح—تنظيمات متماثلة لذرات تعلق في المكان المناسب بواسطة أربطة رنين كيميائية. ولكن عندما تنضم البلورات الجزيئية البالغة الصغر إلى أشكال أكبر، فإن تشويشات عشوائية تشوه النمط. فالعقيق الأحمر، المحتبل في القفر، يحمل، في الواقع، وجوهاً سداسية الجوانب، هي انعكاسات لتركيبه الجزيئي. ولكن الأشكال السداسية منكفئة، مشوشة التماثل. والمكعبات

البالغة الصغر من الملح-كلوريد الصوديوم-تبدو، تحت المجهر، مخددة بشقوق. إن هذه التماثلات المهشمة، كما يسميها الفيزيائيون، هي هندسة صرفة، كهندسة إقليدس، كأنها تترصد داخل فوضى العالم. كان العالم سيكون رياضياً فقط لو لم يفسده الواقع. أحياناً، تتبلر قطعة من الكوارتز بوجوه سداسية تامة، أو يبدو البيريت على شكل مكعب لا شقوق فيه، مما يشير إلى سقالة ذرية في الأسفل. ويتبلر الماء من السماء في تماثلات سداسية الفصوص للكِسَف الثلجية. ولكن الطبيعة قلما تكون ملزمة بالتعبير عما نعتبره قوانينها. وكلما كانت التماثلات أكثر في الأشكال الجيولوجية التي نجدها، كان الاحتمال أكبر في وجود عقل يعمل، محولاً التربة إلى رؤوس سهام، وكرات، وآجر، وزبادي، وتفصل بينها رقعات داماء، ويصقل وعورتها، محوّلاً العالم إلى دوائر وخطوط.

كيف انتهينا إلى الإيمان بوجود عالم مبني على سقالة تماثلٍ مطمور؟ وقد وصلتنا إشارة مبكرة في القرن الثامن عشر ومطلع القرن التاسع عشر، عندما اكتشف الكيميائيون أن العناصر تتحد بنسب وفقاً لأوزانها. فإذا حللنا الماء تحليلاً كهربائياً، فإننا سنحصل على ضعف واحد من الأكسجين وضعفين من الهيدروجين (H_2O). وإذا نشّطنا التأملات القديمة، فإن الكيميائي الانكليزي جون دالتون اقترح أن هذا التماثل يمكن تفسيره إذا كان العالم مكوناً من ذرات. فقطرة ماء يمكن أن تبدو ملساء دون تغضنات، ولكن تتكون من "ذرات" غير مرئية من الماء-نسميها اليوم جزيئات-يتكون كل منها بدوره، على وجه الدقة، من ذرتي هيدروجين وذرة واحدة من الأكسجين. وجاء التعزيز الإضافي لهذه الهندسة الخفية عندما اكتشف الفيزيائي الروسي ديميتري مندلييف، عام ١٨٦٩، أنه عندما تم تنظيم عناصر معروفة في صفوف بزيادة الوزن الذري، فإنها تراصفت، كأنما بقوة سحرية، في أعمدة وفقاً لخواصها المتماثلة-الجدول الدوري للعناصر. وكان مزعجاً وجود فجوات في الجدول، ولكن سرعان ما اكتشفت العناصر المفقودة، وتم ملء الفراغات. فبدا أن جهازاً من صنع الإنسان يتنبأ بالأشياء في العالم الواقعي. كان هذا العمل الفذ مؤثراً، بوجه خاص، على اعتبار أن الجدول كان قد وُضِع قبل وقت طويل من اكتشاف الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات، التي نعتبرها اليوم مولِّدات النظام.[٢١]

وفي العقود التالية، بحث العلماء عن مفاتيح لما يجري خلف الواجهة المنظمة لجدول مندلييف. نأخذ أنبوباً مليئاً بالغاز مزوداً بصفيحة معدنية من كل طرف، ونربط كلاً منها بالقطب المضاد لبطارية، عندئذٍ سيولِّد الجهاز أشعة، ينتقل بعضها من الصفيحة المشحونة سلبياً إلى الصفيحة المشحونة إيجابياً، وبعضها ينتقل في الاتجاه الآخر. وعندما درس العلماء هذه الانبعاثات، تبيَّن لهم أن نوع الغاز في الأنابيب ليس مهماً-الكهرباء تفككه إلى كل ما كان في تلك الأشعة المُعادِلَة. وبدا أن الأشعة كانت أكثر شبهاً بتيارات من الجسيمات منها بموجات: إذا وضعنا عقبة في سبيلها، فإنها تلقي ظلالاً حادة؛ وإذا كانت العقبة عجلة تغديف، فإن حزمة الأشعة ستجعلها تدور.

وإذا وضعنا أحجاراً مغنطيسية وصفائح مشحونة كهربائياً حول الأنبوب، فإننا نجعل الأشعة تنعطف. ففي

---

[٢١]-إن تاريخ الفيزياء الجزيئية سرده بصورة جازمة Abraham Bais في كتابه Inward Bound، ووصفه أيضاً بإتقان Robert Crease و Charles Mann في كتابهما Second Creation. ووصف Stephen Mason السنوات المبكرة في كتابه A History of the Sciences. ونجد وصفاً للتجارب الميكرة بالالكترونات والجزيئات الأخرى في كتاب The discovery of subatomic Particles لـ steven Weinberg. وكتب Hans Christian Von Bayer بأناقة Taming the Atom، الذي يتحدث عن البحث الحديث، الذي يتم فيه عزل الذرات ودراستها إفرادياً.

عام ١٨٩٧، قام ج. ج. ثومسون، مدير مختبر كافنديش في كمبريدج، في انكلترا، مستخدماً جهازاً كهذا، بحساب نسبة شحنة إلى كتلة ما اعتبر أنه أشعة جسيمات غير مرئية. وعن طريق جمع النتائج مع بعضها، استطاع أن يؤكد بقوة وجود جسيمات خفيفة الوزن مشحونة سلبياً سميت الإلكترونات. وبعد عقد ونصف العقد، ابتكر العالم الأمريكي روبرت ميلِكِن طريقة بارعة لقياس شحنة جسيمات ثومسون واكتشف (ضمن حدود الخطأ التجريبي) أنها كانت كلها متماثلة. وعن طريق تفحص قطرات زيت تهتز في مجالات الكتروستاتية، اكتشف أن هناك كمية أصغرية من شحنة سالبة يمكن أن تحملها قطرة، وأن الشحنات الأقوى كانت مضاعفات متممة لهذه القيمة. وحسب ثومسون نسبة الشحنة إلى الكتلة؛ التي كان ميلِكِن قد قاسها. وكان كل ما تطلبه هذا هو إجراء حساب بسيط لحساب كتلة الإلكترون.

واليوم، مع بداية السنوات الأولى في المدرسة الابتدائية، يتم تلقين التلاميذ النظرية الذرية للمادة. حتى الناس الذين يتمتعون بالقليل من المعرفة بالعلم يحملون صورة لذرة تتوهج في رؤوسهم–الشعار القديم للجنة الطاقة الذرية مع إلكترونات لف حول النواة. وإذا نظرنا إلى التجارب المبكرة في استعادة لأحداث الماضي، فإننا نرى ثومسون وميلِكِن يتجهان إلى الالتقاء حول فريستهما، كاشفين عن نظام خفي موجود من قبل. ولكن، لنتصور عدم معرفة كيف ستنتشر القصة. ولنحاول رؤية التجارب من خلال أعينهم، القابلة للتعديل، بلا شيء سوى لغز إلى أمام، وهما يحاولان معالجة بنىً جديدة معذَّبة غير منظورة خارج خيوط المعطيات الغامضة، التي تطور إحساساً بما يمكن أن يكون مقبولاً بوصفه ملاحظة صحيحة وما يمكن استبعاده بوصفه خطأ تجريبياً.

وفي تجارب مماثلة، تبيَّن أن الأشعة التي ظهرت في صمام خَوائي مركبة من جسيمات ذات شحنات مضادة لشحنات الإلكترون. واكتُشِف أن الشعاعين وُجِدا ليس فقط في هذه الحالات الاصطناعية–أنابيب مملوءة بالغاز معلقة بأسلاك. فقد انطلقا أيضاً من نظائر مشعة–تفكك النوى وإطلاق قطع سلبية وإيجابية، وهي ما نسميه اليوم أشعة ألفا وبيتا. ويثبت العالم، كما يبدو، أنه مبني، بطريقة ما، من هذه الجسيمات غير المرئية، هذه المنشآت التي تُجمَع قطعة قطعة من هيكل متنام للدليل بالقرينة.

بما أن الشحنات المضادة تجذب، فإن العلماء تصوروا، في البداية، أن الجسيمات الإيجابية والسلبية، أي البروتونات والإلكترونات، تتماسك مع بعضها بعضاً في كرة صغيرة غير مرئية. ولكن إرنست رَذَرْفورد أظهر في تجربة في مختبر كافندش، التي أطلق فيها نوى الهليوم على قطعة من رقاقة ذهبية، أنه على الرغم من ارتداد بعض تلك النوى، فإن معظمها انطلق مباشرة عبرها. فاستنتج أن الذرات كانت، على الأغلب، حيزاً فارغاً: نواة صلبة، مشحونة سلبياً تحيط بها إلكترونات. وهناك، لكل بروتون في النواة، إلكترون يدور حوله، معادلاً شحنته. وتنظيم الإلكترونات هو الذي يعيِّن السلوك الكيميائي للذرة–الآلية وراء جدول مندلييف طُرِحَت واضحة.

ولكن سرعان ما بدأت التناقضات تشوش هذه الصورة الممتعة. وذلك لسبب واحد، حيث بدا أن هناك ذرات متماثلة الشحنة (العدد نفسه من الإلكترونات الدائرة) ولكنها مختلفة الأوزان. فإذا كان مخطط التصنيف لدى الكيميائيين صحيحاً، فإن النيون، على سبيل المثال، يأتي في شكلين مختلفين: كتلة أحدهما أكبر من ذرة الهيدروجين بـ ٢٠ مرة، وكتلة الآخر أكبر بـ ٢٢ مرة. ولكن، يحمل كلاهما شحنات سلبية متماثلة. وهكذا، يبدو أن قاعدة إلكترون واحد لبروتون واحد قد انتهكت. والطريقة الوحيدة للخروج من هذا المأزق، هي افتراض أنه

يمكن أن تكون هناك إلكترونات داخل النواة إضافة إلى وجودها حولها. فنوع واحد من النيون سيكون له ٢٠ بروتوناً، والآخر ٢٢ بروتوناً، إضافة إلى إلكترونين نوويين لإبطال الشحنة السلبية الإضافية. واقترح رَذَرْفورد حلاً أفضل: ربما أن الوزن الإضافي لم تسببه بروتونات إضافية، بل جسيمات ثقيلة كالبروتونات ولكن دون شحنة. وهكذا استُحضِر النيوترون إلى الوجود. وسيكون لكلا نوعي النيون المختلفين، أو النظيرين، عشرة بروتونات، يتوازنان بعشرة إلكترونات مدارية؛ ولكن نواة واحدة سيكون لها، إضافة إلى ذلك، عشرة من هذه الجسيمات غير المشحونة، وسيكون للأخرى ١٢.

إن النيوترونات لا تبقى افتراضية لفترة طويلة جداً. وفي تاريخ الفيزياء، نجد حالة إثر حالة تتطلب فيها نظرية ما جسيماً وتبدو الطبيعة فوراً ملزمة. ففي عام ١٩٣٢، اكتشف زميل رَذَرْفورد وتلميذه السابق، جيمس شودويك، جسيمات لا يمكن حرفها بأحجار المغنطيس أو الصفائح المشحونة (لم تكن تمتلك شحنة)، ولكن عندما أُطلقَت على نوى، فإنها أزاحت بروتونات–بدا أنها تمتلك كتلة مماثلة. وهكذا تم إدخال النيوترونات إلى النظام. يمكن للمرء، فقط من ثلاثة جسيمات، أن يولِّد تعقيداً في كل الذرات الاثنتين والتسعين الموجودة بصورة طبيعية في الأرض. والقلة فقط من هذه العناصر–الكربون، والهيدروجين، والنتروجين، والأكسجين، والفسفور، وعدد غيرها– تتحد في جزيئات الحياة.

وعلى كل حال، بدا العالم لفترة هندسياً. ففي الصورة التي رسمها رَذَرْفورد، كانت الذرات تشبه مجموعات شمسية صغيرة فيها كواكب إلكترونية وشموس نووية. وقد قام أحد كتَّاب قصص الخيال العلمي، مستلهماً هذا الخيال، بسرد حكاية رجل يتناول جرعة انكماش، فيتضاءل أكثر فأكثر حتى ينحدر إلى الذرات بالذات التي تشكل كتلة معدنية على طاولة المختبر عند أحد العلماء. ويواصل هبوطه عبر هذا الحيز الداخلي، ويؤول إلى ذرة تحط على إلكترون–كوكب تجذرت فيه حضارة بالغة الصغر. وخلال كامل هذه الفترة طبعاً، كان يواصل انكماشه–إلى الذرات التي تشكل كوكباً إلكترونياً. وينحدر، طبقة طبقة، عبر هذه الهرمية للمجموعات الشمسية المدفونة حتى يجد نفسه على أحد الإلكترونات الذي يحمل بحاراً زرقاء كبيرة، وقارات خضراء–هذا الزائر من وراء العالم الخارجي حط على كوكب الأرض، وهو مستعد للهبوط إلى عوالم أكثر عمقاً.

لا أحد يصدق جدياً أن كوكبنا كان إلكترون ذرة عملاقاً إلى حد ما، أو أن إلكتروناً في ذرة هيدروجين خاصة يمكن أن تغذي نوعاً صغيراً جداً من الحياة. ولكن العلماء، في مطلع القرن العشرين، كانوا متأكدين إلى حد ما، مع الحديث عن البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات، من أنهم وصلوا إلى صخر القاعدة. فالمادة تكونت من ثلاثة جسيمات وتدفعها قوتان–الجاذبية، التي تحتجز الكواكب في مدار حول الشمس، والكهرطيسية، التي تحتجز الإلكترونات في مدار حول النواة. ولكن، تبيَّن أن هذه الصور الأرضية يمكن فقط أن تمتد إلى هذا الحد. فنحن نحاول شرح الغريب بلغة المألوف، ولكن أحياناً فقط لن يتوقف عن كونه غريباً.

عندما كان رَذَرْفورد، وثومسون، وجماعاتهما يجمعون أجزاء نظرية للمادة إلى بعضها بعضاً، كان آخرون يحاولون أن يفهموا الظاهرة غير المنظورة التي تسمى الطاقة. ففي مطلع القرن التاسع عشر، أثبت هانس كريستيان إرستيد، في كوبنهاچن، أن وشيعة مربوطة بتيار كهربائي عملت كمغنطيس–وصلت عبر المكان وجعلت إبرة موصلة تتحرك. وفي انكلترا، أظهر ميشيل فاراداي فيما بعد أن الطبيعة كانت قادرة على إحداث

تأثير متبادل: تحريك المغنطيس جيئة وذهوباً داخل وشيعة ولَّد تياراً كهربائياً. وتُرِك لجيمس كليرك ماكسويل الكشف عن الهندسة الكامنة خلف هذه الصلة الحميمة: الكهرباء والمغنطيسية كانتا ظلالاً متبادلة تطرحها قوة مفردة أساسية أكثر، هي الكهرطيسية. فشحنة كهربائية متحركة تولِّد مجالاً مغنطيسياً متحركاً؛ والمجال المغنطيسي المتحرك يسبب تحرك الشحنة الكهربائية... التي تولِّد مجالاً مغنطيسياً متحركاً–وهلمجرا. وكشفت معادلات ماكسويل، التي صيغت في شكل تخطيطي، صورة متماثلة جميلة: مجالات مغنطيسية تتذبذب عند الزوايا القائمة إلى مجالات كهربائية، كهدبات سهم–شعاع كهرطيسي ينطلق عبر المكان.

إن الشرارة التي تطير من إصبعنا عندما نعبر غرفة مفروشة بالسجاد ونلمس مسكة الباب والبرق الذي يلتمع فوق الجبال يتضافران في جذب إبرة الموصلة. ويولِّدان موجات تنتقل، كما تنبأت المعادلات، بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء المقاسة. وهكذا أوجد ماكسويل علاقة أخرى: الضوء جزء من الكهرطيسية. فمن سداة ولحمة الكهرباء والمغنطيسية تُنسَج حِزَم الضوء التي تتدفق من الشمس.

ولكن معادلات ماكسويل تحدثت أيضاً عن عالم ما وراء النافذة الضيقة لتجربتنا المباشرة. فكانت هناك أنواع أخرى من الكهرطيسية غير ما تسجله الشبكيات البشرية على اعتباره ضوءاً. وكان واحداً من الأشياء الرائعة حول فيزياء القرن التاسع عشر هو المهارة والثقة اللتين بدأ الناس يتفاعلون بهما مع اللامرئي. ففي عام ١٨٠٠، استخدم وليم هيرشل، في انكلترا، ترمومتراً وموشوراً لقياس درجات الحرارة في قوس قزح ضوء الشمس. وعندما وضع الترمومتر خلف الحافة الحمراء للطيف، اعترته الدهشة إذ اكتشف أن درجة الحرارة تنقص–كان يقيس طاقة إشعاع دون أحمر غير منظور. وبعد سنة، استخدم عالم آخر، هو جوهان رايتر، كلوريد الفضة لصنع نوع خام من ورق فوتوغرافي وأظهر أنه تحول إلى اللون الأسود حتى عندما وضعه وراء الحافة البنفسجية للطيف، مسجلاً ما نسميه اليوم الإشعاع فوق البنفسجي. وفي البحث عن أنماط في الطبيعة، كان الضوء–الشيء المتجذر في تجربتنا اليومية–يصبح معمماً، مقدَّراً استقرائياً في حقول بالكاد وصلنا إليها. وحوالي نهاية القرن، أي في أواخر القرن التاسع عشر، استخدم الألماني، هاينرخ هيرتس، وشائع وتيارات لتوليد موجات لاسلكية وأثبت أنها تصرفت كأشعة الضوء–انتقلت بالسرعة نفسها، ويمكن عكسها وكسرها. ولم يمض وقت طويل قبل أن يتبيَّن أن أشعة X التي انطلقت من نوى تفتيت وعظام مصبوبة كصور ظلية هي أيضاً ملاحظة على الأجوبة الكهرطيسية ويمكن وصفها باستخدام قوانين ماكسويل. وبدا أن معادلاته اتخذت حياة خاصة بها، تصف ظواهر لم يكن يتصورها.

في تاريخ العلم، لم يكن هناك تركيب أكبر منذ ترابطات نيوتن بين الكتلة، والقوة، والتسارع. وكان مزعجاً أيضاً أنه عندما وُضعَت نظرية الطاقة هذه بجوار الإبداع الآخر العظيم للعلم، أي النظرية الذرية للمادة، فإن النظريتين لم تتداخلا. فسواء انتقلت الإلكترونات في وشيعة سلك أو في امتدادات خارجية لذرة، فإنه كان يُتوقَّع أن تشع موجات كهرطيسية. فإذا كان إلكترون يدور فعلاً حول نواة، فإنه يجب باستمرار أن يخسر طاقة. ولماذا لا يهبط ويرتطم بشمسه النووية؟ إذا كانت الآلية غير المنظورة التي تئز تحت سطح العالم تعمل حقاً وفقاً لخطة رئيسة، عندئذٍ، يجب تعديل شيء ما بخصوص صورتنا للذرة أو صورتنا للموجات الكهرطيسية.

إن إصلاح هذا التناقض المزعج يتطلب، في النهاية، لا أقل من التخلي عن التمييز المحفور عميقاً بين

الجسيمات والموجات. فالتلميحات إلى أنه يمكن أن يكون هناك شيء ما خطأ في هذه الطريقة لتجزئة العالم جاءت من دراسة كيف تبعث مادة، في درجات حرارة مختلفة، ألواناً مختلفة من الضوء. فإذا طبخنا قضيب حديد في فرن، فإنه يبدأ بإشعاع موجات تحت حمراء غير مرئية؛ وعندما يتسخن أكثر، فإنه يصبح أحمراً ثم برتقالياً وهو يصعد المقياس الكهرطيسي. فما العلاقة بين درجة الحرارة والتواتر؟ لفهم هذه الظاهرة، قام العلماء بدراسة حالة مثالية، أي مُشع الجسم الأسود المعروف، الذي يعتمد تواتر وكثافة الإشعاع معه فقط على درجة حرارة الشيء وليس على المادة التي يتكون منها. ولكن، أياً كانت الطريقة التي كانوا ينظرون فيها إلى المشكلة، فإن معادلات الفيزياء الكلاسيكية، كان يبدو أنها تتنبأ بأن مُشعات الجسم الأسود، بصرف النظر عن درجة حرارتها، كانت تبعث كمية لا متناهية من الإشعاع فوق البنفسجي. من الواضح أنه ليس هذا ما يحدث في الحياة الواقعية. ومن خلال عبثه بالرياضيات، اكتشف الفيزيائي الألماني، ماكس بلانك عام ١٩٠٠، أن التناقض السخيف بين النظرية والواقع نشأ بسبب الافتراض بأن الطاقة متواصلة، وقابلة للقسمة إلى ما لا نهاية كقطع خط ما. وكانت خطته للخروج مما أصبح يسمى "كارثة الأشعة فوق البنفسجية" تقتضي الافتراض بأن طاقة الجسم الإشعاعي تتبدل بشكل متقطع على شكل رزم صغيرة–كَمَّات–يمكن قياس حجمها بعدد يسمى اليوم ثابت بلانك. وبعدئذٍ، اكتشف أيْنشتاين أنه يمكن استخدام الكَمَّات لتعليل التأثير الكَهْرَضَوْئي. فعندما يشع الضوء في رزم صغيرة على سطح معدني، فإنه يحمله على إرسال إلكترونات، ولكن طاقة هذه الجسيمات لا تعتمد على شدة الضوء، كما يمكن أن نظن، بل على تواتره. وكما أظهر أيْنشتاين عام ١٩٠٥، فإنه يمكن فهم هذه الظاهرة إذا قبلنا الافتراض بأن الضوء يأتي على شكل رزم؛ وأظهر أيْنشتاين أنه يجري امتصاص الطاقة بالطريقة نفسها.

وفي كوبنهاجن، اقترح نيلس بور، وقد أسرته هذه الهرطقة، تصليحاً لذرة رَذَرْفورد: قال لنفترض بأنه سمحنا بوجود الإلكترونات فقط في مستويات معينة حول نواة. في هذه "المدارات" (إذا كان ما يزال ممكناً استخدام هذه الكلمة)، لن ترسل الإلكترونات طاقة. ولكن عندما تقفز إلى مستوى جديد، أبعد عن النواة أو أقرب إليها، فإنه سيتم امتصاصها أو تقذف فوتوناً من الضوء. ووفقاً لنظرية الكَمّ،[٢٢] فإن هذه الرزم من الطاقة كانت هي "الذرات" الحقيقية–التي لا تقبل الانقسام. ويمكن ألا يكون هناك شيء من قبيل إلكترون يحوم بين أغلفة ذرية، أو يعبر بسلاسة من غلاف إلى آخر.

منذ العصور القديمة في اليونان، والفلاسفة يتناقشون حول ما إذا كانت مادة الواقع متفتتة أو متصلة. وفي نزهة خارج جوتنجن، علل بور لزميله الألماني، فيرنر هايسنبرج، سبباً ملزماً لتجزئة العالم بطريقة مختلفة–التخلي عن افتراض الاتصال، لكي تكون الإلكترونات عند طاقات معينة، ويمكن، بصورة أساسية، أن تقفز من مستوى إلى آخر دون أن تنتقل في المكان بينهما. في القوانين الكلاسيكية، التي استنتجها بور، لاشيء يمكن أن يفسر حقيقة واحدة مركزية أكثر بالنسبة لوجودنا: استقرار المادة. صحيح أننا لا نرى تماثلاً كبيراً ونحن نتفرس

---

[٢٢] لوصف الأيام المبكرة لنظرية الكم، أنصح بالكتابين: Physics and philosophy و Physics and Beyond لـ Werner Heisenberg، والكتاب Niels Bohr's time لـ Abraham Pais، وكتابي تاريخ رائعين: Men who Made a New Physics لـ Barbara Lovett Cline و thirty Years That School Physics لـ George Gamow. وهناك الكثير من أفكار فيزياء القرن العشرين تم التطرق إليها بتفصيل دقيق في كتب الفيزيائيين: The World Within the World لـ John Barrow، و the Edges of Science لـ Richard Moris، و Perfect Symmetry لـ Heinz Pagels، و Longing for the Harmonies لـ Frank Wilczek و Betsy Devine، و Fearful Symmetry لـ Anthony Zee.

أراضي اسبنيولا السيئة. وبصرف النظر عن مدى وعورة التربة الحتّيَّة، فإنه يبدو أنها مكونة من عدد لا متناه من العناصر. ونجد أن هذه المواد تمتلك، بشكل ثابت، الخواص نفسها، التي يبدو أنها تعتمد على كيف تنتظم إلكتروناتها. كيف يمكن أن يكون هذا إذا سُمِح للإلكترونات أن تتخذ أي موقع حول نواة، اعتماداً على كيف كانت الطبيعة قد صدتها–إذا سُمِح لذرة أن يكون لها تاريخ وهوية مستقلة، ككائن حي؟ لنتصور أنه كان هناك عدد لا متناه من التدرجات، أي كمية متصلة، بدلاً من العناصر الاثنين والتسعين من الهيدروجين مقابل اليورانيوم. وبدلاً من الخلايا المرتبة بأناقة، سيصبح جدول منديليف شريطة متصلة. ولكن إذا لم تكن مستويات طاقة الإلكترونات متصلة، أي إذا أخذنا فقط بعض القيم بعين الاعتبار، فإنه يمكن أن نفسر لماذا يستمر إنتاج الأشكال نفسها في الطبيعة.

وبالتدريج، أصبح واضحاً أن صورة الإلكترونات التي تقفز من مدار إلى مدار كانت مجرد استعارة ناقصة، وبدأ العلماء يفكرون بمستويات أكثر تجريداً، كحالات الطاقة. فشكل نمط بور أيضاً قفزة كمية بطريقة أخرى: اقترح أنه، في محاولة تفسير العالم داخل الذرات، قد يتوجب علينا أن نلجأ إلى مفاهيم تختلف عن مفاهيم العالم اليومي. ولكي يحتفظ بفكرة الاستقرار، توجب عليه أن يضحي بما كان يشكل إدراكاً عاماً، أي ذرة يمكن أن نصور سلوكها في عقولنا. وكان الثمن فكرة أن الغريب يمكن تفسيره بلغة المألوف. فكانت خطوة قصيرة إلى الغرابة الكمومية التي أصبحت طبيعة ثانية للفيزياء وأحجية لقرّاء الكتب العلمية الشائعة: موجات تتصرف كجسيمات، وجسيمات تتصرف كموجات–وموجات لا تتكون من مادة ما تحتية بل موجات من احتمال، هالة من احتمال صرف لا تُدرَك قبل أن "تنهار" من قبل مراقب، الذي يبدو تقريباً أنه يستحضر الجسيم إلى الوجود من تشوش رياضي. وحتى في هذه الحال، يبقى هناك تعقيد يدعى مبدأ لا يقينية هايسنبرج: عندما نلاحظ جسيماً، فإننا لا نستطيع تعيين موضعه وكمية تحركه في وقت واحد؛ وكلما قسنا أحدها بدقة أكبر، أصبح الآخر أكثر تشوشاً–لا يقينية متبقية لا مفر منها تقاس بثابت بلانك، الذي يعتبر اليوم واحداً من البارامترات الأساسية في الكون. فقبل أن نعرفه، كنا نفسر المألوف بلغة الغريب، وهو ما سماه هايسنبرج "هذا المزيج الفريد من البربرة المبهمة والنجاح التجريبي." وعلى الرغم من صعوبة تفسيرها، فإن نظرية الكم استمرت تفاجئ مبتكريها بالذات بدقة التنبؤ بسلوك العالم دون الذري غير المنظور. فالتماثلات تمضي بوضوح إلى أعمق مما يتوقع أحد.

وفي بناء نظرية للعالم، من المفيد أن تكون رؤية المرء غائمة. فقد كانت الملاحظات الأكثر والأكثر دقة هي التي أجبرت بطليموس على إضافة زخرفات إلى كونه الذي اتخذ من الأرض مركزاً–أفلاك التدوير السيئة الصيت التي احتفظت بأوهام أن كل شيء يتحرك في دوائر تامة (ودوائر ضمن دوائر) حول الأرض. ومن ناحية أخرى، كان نوع من قصر البصر الفلكي هو الذي قاد كبلر إلى ابتكار هندسته الإهليلجية الأكثر بساطة. فالكواكب، في الواقع، لا تتحرك في دوائر ولا في أهليلجات ناقصة. ولو كانت أرقام الفلكي تايكو بريه أكثر دقة، لما استطاع كبلر أن يرى ما بدا له إشارة وسط الضجيج: الأهليلجات الناقصة التي كانت الكواكب ستتبعها مثالياً لو لم يشوشها الشد الثقالي لجيرانها، التي يشوشها جيرانها، التي يشوشها أيضاً المزيد من الجيران. والتماثلات دائما منكفئة قليلاً.

عندما تم إلحاق رؤية نظام شمسي ذري بنظرية الكم، فإنه لم يمض وقت طويل قبل أن تُزخرَف ذرة بور بزخارف خاصة بها. وواحد من الأشياء الجذابة حول نمط بور هو مدى أناقة تفسير إرسال وامتصاص المادة للضوء. وفي منتصف القرن التاسع عشر، اكتشف الكيميائيون أنه إذا أحرقوا عنصراً وفحصوا لهبه بموشور، فإنه سيعطي قوس قزح خاص به، طيفاً مغطى بنمط مميز من الضوء أو الخطوط السوداء. وفي نظرية بور، فإن الخطوط سببتها الفوتونات التي أُرسلَت أو امتُصَّت عندما قفزت إلكترونات الذرات من حالة إلى حالة. ودل خط ناصع على رزمة صغيرة جداً من الطاقة التي أُرسلَت عندما قفز إلكترون من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى؛ ودل خط أسود على فوتون امتُصَّ لدفع إلكترون من حالة أدنى إلى حالة أعلى.

ولكن تبقى هناك بعض التناقضات التي يجب تفسيرها. فعندما نظر أحدهم بدقة إلى الخطوط الطيفية، اتضح له أنها لم تكن نتوءات منفردة من تلك التي سميت "بنية دقيقة،" وكأن الإلكترونات في المدار نفسه لم تكن مُكمَّاة quantized تماماً، ولكنها، مع ذلك، يمكن أن تمتلك طاقات مختلفة قليلاً. فما معنى هذا؟

ولحل المشكلة، وسَّع الفيزيائيون تخيلاتهم إلى حد أبعد، مفترضين أن الإلكترونات ضمن مدار واحد يمكن أن تنتقل على شكل دوائر، على شكل أهليلجات ناقصة، في أهليلجات ناقصة ذات امتدادات مختلفة، أو حتى على شكل نماذج أكثر تعقيداً. وفي نمط بور الأصلي، كانت الإلكترونات تُعطى أعداداً كمومية، ١، ٢، ٣، ٤، تصف في أي غلاف هي. ولتفسير هذه "الحجوم المدارية الثانوية" الجديدة، كان يُضاف المزيد من الأرقام الكمومية. ولكن حتى هذه الأرقام لم تكن كافية. فعندما سُمِح للهب بعض العناصر بأن يومض في مجال مغنطيسي، فإن ما كان يفترض أن يكون إلكتروناً وحيداً في الغلاف الخارجي ولّد العديد من الخطوط الطيفية. وحتى الهيدروجين، الذي افتُرِض أن له فقط إلكتروناً واحداً، عرض ما سُمِّي "تقديرين للقيمة،" وذلك لعدم وجود تسمية أفضل. ولتعليل هذه اللفات الغريبة، اقترح الفيزيائي الهولندي، جورج أُلينبِك، أن إلكتروناً ما، في مداره حول الذرة، يمكن أيضاً أن يدور على محوره، باتجاه، أو ضد، حركة عقارب الساعة. وفي كل حالة، تكون له طاقة مختلفة قليلاً في المجال المغنطيسي المفروض ويقذف خطاً طيفياً مختلفاً قليلاً.

ولكن الواقعيين الصميميين، الذين راق لهم الاعتقاد بأن الإلكترونات والمدارات هي أكثر من مجرد منشآت عقلية ملائمة–النظرية الذرية، في الواقع، تصف أشياء واقعية في عالم غير منظور–اكتشفوا مشكلات في صورة أُلينبِك. فقد اعتُبِرَت الإلكترونات، بوجه عام، كنقاط دون حجوم. إذاً، ما الذي لف بالضبط؟ وحتى لو اعتبرنا الإلكترونات كرات صغيرة جداً، لتفسير "تقديري القيمة" اللذين يجب أن يكونا لها لكي تلف بسرعة أكبر من سرعة الضوء بعدة مرات، هو انتهاك ظاهري لنظرية أينشتاين الخاصة بالنسبية.

ولكن فكرة اللف كانت أنيقة جداً إلى درجة تغلبت معها على الاعتراضات، وبدأ الفيزيائيون يتحدثون عن جسيمات تلف باتجاه حركة عقارب الساعة أو "هبوطاً" (محور الدوران يتجه إلى أسفل)، وتلف "صعوداً" ضد حركة عقارب الساعة، كأنها دوَّامات صغيرة. ولكن هذا لم يكن هو اللف العادي الذي نشاهده في عالمنا. فلكي نحافظ على الانسجام مع نظرية الكم، فإنه يجب تكمية اللف نفسه: يمكن فقط أن يتخذ قيماً معينة: $\frac{1}{2}$، ١، ١ $\frac{1}{2}$، ٢. ومفهوم اللف يصبح أيضاً أكثر إرباكاً عندما يمضي المنظِّرون إلى إثبات أن إلكتروناً ما يمكن أن

يكون إما جسيماً أو موجة. فما معنى أن تلف موجةٌ؟

إن ما كان يوماً يبدو بسيطاً جداً –جسيماً خفيف الوزن يحمل وحدة واحدة من شحنة سلبية–كان يصبح معقداً إلى حد مريع عندما أضيفت كل أفلاك التدوير الكمومية هذه. ولكن النمط الذي كان يبنيه الفيزيائيون بدا عملاً جيداً للتنبؤ بسلوك الذرات حتى أن الدافع كان ضعيفاً للهبوط نزولاً على شجرة المعرفة لكي يدركوا ما إذا كانوا، كبطليموس، قد بدؤوا بخطأ تأسيسي مشؤوم. وبدلاً من ذلك، راح العلم يتلمس طريقة بحثاً عن لغة لوصف نوعية مجردة لا يمكن أن نعرفها مباشرة، ولكنها لغة ساعدت على فهم العالم دون الذري. وفي كتابه، *تاريخ موجز للزمن*، شرح ستيفن هوكنج كيف نفهم اللف بطريقة أكثر شمولاً وتجريداً مما تعودنا. والمفهوم الرئيس هو التماثل–كيف نرى شيئاً من مشاهد مختلفة ومع ذلك يبدو هو نفسه. استخدم هوكنج لعب الورق مثالاً لذلك. فبطاقة الوجه، كالبنت أو الختيار، يمكن قلبها رأساً على عقب ولا يبدو أنها تغيرت. ويقال عن الجسيمات التي تحمل هذه الخاصية–تدور نصف دورة وتحتفظ بهويتها–إنها من لف ٢. (چرافِتونس، الحَمَلَة الافتراضيون لقوة الجذب، يُعتقَد أنها مثال لذلك). ولكن، إذا دوَّرنا آس البستوني نصف دورة، فإنه ينقلب رأساً على عقب؛ ويتطلب دورة كاملة لكي يحتفظ بمظهره. ويقال إن آس البستوني، كالفوتون، من لف ١. [٢٣] حتى الآن، هذا جيد. ولكن ماذا عن جسيمات كالإلكترونات والكواركات، التي يقال إنها من لف $\frac{1}{2}$؟ وليس هناك ورق لعب يتطابق معها، لأنه يجب أن تدور مرتين لكي تعود إلى وضعها الأصلي.

بدأ الفيزيائيون بتجزئة العالم إلى أصناف يمكن أن نفهمها بالحدس: قوة، كتلة، سرعة، تسارع، فلطية، شحنة، تردد. وقد ميز إدخال اللف نقطةَ تحول بدأ العلماء فيها بالمألوف، أي صورة دوامة اللف، وجردوها إلى عوالم بالكاد يمكن تصورها. ويعتبر لغزاً أنه يمكن أن نبني رياضياً الأشياء التي يبدو أنها أزيلت إلى حد بعيد من العالم الذي نعيش فيه. والملغز أكثر أيضاً ما يتبيَّن أحياناً من أنها مفيدة.

إذا أخذنا مكعباً شفافاً وأسقطناه على سطح ذي بعدين، فإن ظله يكون مربعاً معلقاً داخل مربع بخيوط قطرية. ولنتصور أيضاً مكعباً داخل مكعب، معلقاً بسطوح–ظلاً ثلاثي الأبعاد لـ "مكعب" رباعي الأبعاد. فهل يمثل مكعب رباعي الأبعاد معلق داخل مكعب رباعي الأبعاد بواسطة مكعبات إسقاطاً رباعي الأبعاد لجسم خماسي الأبعاد؟ تجاوزنا الآن مرحلة التصور العقلي، ولكن يمكن أن نتبع المنطق في هذه الأحياز المجردة إلى حد بعيد.

وهكذا مع الفيزياء الجزيئية. ولتوضيح كيف تتحد البروتونات والنيوترونات مع بعضها بعضاً لكي تشكل النوى، أخذ العلماء بالفكرة المراوغة سابقاً لإلكترون يلف وجرَّدوها أيضاً إلى حد أبعد. ولكن أياً من القوتين المعروفتين، الثقالة والكهرطيسية، لم توضح كيف تتحد النوى مع بعضها بعضاً–الثقالة لم تكن قوية بما يكفي، والحقيقة هي أن الدفع الالكتروستاتي يفرِّق البروتونات، ولا يلصقها مع بعضها بعضاً. وما الذي يجعل جسيماً محايداً، نيوتروناً، يلتصق مع بروتون؟ وفي الفيزياء، لا شيء يوضح سبب وجود النواة. وبما أن النوى غير منظورة بأية حال، فإن مخلوقات أقل يمكن ببساطة أن تكون قد تخلت عن محاولة بناء نظرية للمادة. وبدلاً من ذلك، قام الفيزيائيون أيضاً بقفزة أخرى مفاهيمية. فابتكرت قوة ثالثة للطبيعة–القوة النووية الضخمة، المائع

٢٣-أحياناً، عندما يجري الحديث عن الفوتونات بوصفها موجات، يمكن اعتبار اللف مشابهاً للاستقطاب.

الرياضي الذي أصبحت فيه البروتونات والنيوترونات مظاهر مختلفة لجسيم افتراضي يدعى النُّوَيَّة. إذا جعلناها تلف بطريقة ما، فإنها ستصبح بروتوناً، وإذا جعلناها تلف بطريقة أخرى، فإنها ستصبح نيوتروناً. ولكن، مع هذا اللف النظائري المعروف، بالكاد نجد تلميحاً لتفسير فيزيائي. إن "اللف" أو أياً كانت تسميته، لا يحدث في الحيز الذي نتحرك فيه، بل في العالم الرياضي المتخيل.

نحن نخترع الأمكنة دون توقف، بصورة ملزمة جداً إلى درجة تبدو فيها هذه الموهبة وكأنها مُسَلَّكَة في جملتنا العصبية، وهي نماء للقدرة الملائمة تطورياً لكي نتصور عقلياً ما لا يوجد مباشرة أمام أعيننا. عندما نعتبر أننا نتحرك في نظام أو نقترب أكثر من هدف، فإنما نحن نجرِّد فكرة المكان الفيزيائي. ويفعل الرياضيون هذا بصورة أكثر دقة. يمكن لأحدنا أن يفكر بمكان ذي بعدين، سطح صحيفة من الورق كما يتمثل بمحورين متعامدين في رسم بياني. ولنأخذ أية نقطة ونقيس بعدها عن المحورين الأفقي والعمودي، فنحصل على عددين، أو إحداثيين، يصفان الموقع بدقة. نضيف محوراً ثالثاً، عمودياً على المحورين الآخرين، فنستطيع أن نرسم أية نقطة في مكان ثلاثي الأبعاد. وإذا سمحنا لأنفسنا أن نواصل إضافة محاور، فإنه يمكن أن نتخيل أمكنة بأي عدد من الأبعاد. لقد استنفذت تسميات "ارتفاع" و"عرض" و"عمق" ولهذا أمكن تسمية البعد الرابع بـ "الزمان." ولنفترض أننا نستخدم رسماً بيانياً لتمثيل صفات غرفة مليئة ببالونات الهليوم. ويُمَثَّل كل بالون بنقطة ذات أربعة إحداثيات تصف موقعه في لحظة معينة؛ وعندما يتحرك عبر الغرفة، فإنه يرسم "خطاً" رباعي الأبعاد. نضيف محوراً آخر، فيتمثل لدينا لون البالون (لنتخيل، لغرض البرهان، أنه يتغير دائماً)؛ ونضيف محوراً آخر للتردد الذي يهتز به في الهواء. وفي الواقع، ليس هناك ما يبرر لماذا يجب أن يمثل المحوران الأولان أو المحاور الثلاثة في الرسم البياني أبعاداً مكانية. ولنفترض أننا ندرس صفات دارة كهربائية، صندوق أسود مليء بالمركَّبات والأسلاك. فإذا استخدمنا سلسلة من الفولطيات للدخل، فإننا نقيس التيار الذي ينساب من الطرف الآخر. وبعدئذٍ، نرسم الفولطية ضد التيار وندرس الشكل الذي يظهر كدارة تسلك في هذا المكان الخيالي الذي تتكون أبعاده من تيار وفولطية.

وعن طريق رسم بارامترات مقابل بارامترات، خلق المنظِّرون الأوائل أمكنة جديدة ملزمة جداً إلى درجة يصعب معها اعتبارها غير حقيقية. وضمن هذه الأكوان، انبثقت نماذج جميلة كاللف النظائري، يوصف كل منها برقم كمِّي جديد. وبالتجريد من الرياضي المألوف إلى الرياضي الصرف، من المكعبات إلى المكعبات الرباعية الأبعاد، كان العلم يتناول التماثلات الهندسية التي نعرفها هنا على الأرض بوصفها حالات خاصة أكثر عمومية لشيء ما. يمكن أن نمسك بيدينا كرة ونقيِّم تماثلها، كيف تبدو متشابهة بصرف النظر عن الطريقة التي ندوِّرها بها. ويمكن أن نعجب بالتماثل السداسي لنُدَف الثلج، لكل مثلث يُرسَم على سطح مستو، بزواياه الـ ١٨٠ درجة. ومن الهندسة التي تمتع العين، كانت الفيزياء تنتقل إلى الهندسة التي تمتع العقل–ولكن فقط العقول المشحوذة لإدراك أكثر الأنظمة تعقيداً.

إذا هبطنا إلى العالم الاصطناعي لمكان اللف النظائري، وتخيلنا أننا وصلنا إلى داخل إحدى النوى، ونقرنا عشوائياً على الدوامات دون الذرية الملتفة، فإن اتجاه حركة عقارب الساعة يصبح اتجاهاً معاكساً لحركة عقارب الساعة، والاتجاه المعاكس لحركة عقارب الساعة يصبح باتجاه حركة عقارب الساعة عندما نغير البروتونات

إلى نيوترونات، والعكس بالعكس. ووفقاً لفيزيائنا، سنكتشف أن النواة تبقى مستقرة، على الرغم من النقف. فبالنسبة لقوة شديدة، ليس مهماً أن تكون النويَّة بروتوناً أو نيوتروناً؛ بل تتعامل معهما تماماً بالطريقة نفسها. ويقال إنهما متماثلان بالنسبة للقوة الشديدة تماماً كما هي الكرة متماثلة بالنسبة للدوران.

وفي الواقع، يقال، في لغة الفيزياء الحديثة، إن التماثلات تولِّد القوى. وفي هذه الطريقة لتجزئة الواقع، فإن هذه التماثلات الرياضية هي التي تعتبر اليوم الأساس الفيزيائي الوطيد، مع القوى التي تُعتبَر كظواهر مصاحبة ثانوية. عاطفتنا قوية جداً نحو الهندسة إلى درجة انتهينا معها إلى الاعتقاد بأن التماثلات التي لا نستطيع معرفتها مباشرة هي أساسية أكثر من القوى التي نشعر بها كلما رفعنا صخرة أو لمسنا سلكاً كهربائياً عارياً. أما من أين تأتي التماثلات نفسها فمسألة أخرى طبعاً. فهل هي منسوجة في الكون كالعناصر الأساسية الأفلاطونية أم أن العقل البشري هو الذي ولَّدها في كفاحه لاكتشاف النظام؟

كانت بطولية بما يكفي مآثر التخيل التي يقتضيها توضيح كيف تتظاهر جسيمات ثلاثة، الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات، لآلاتنا العلمية. ولكن بعدئذٍ، ومع تقدم القرن، بدأ يظهر المزيد والمزيد من الجسيمات. بعضها جاء من السماء، على شكل أشعة كونية، قصفت الجو، ممطرة الأرض بالميونات muons، والبيونات pions، والتُّووَات taus. ولكن، حتى الآن، جرى توليد الجسيمات الجديدة بواسطة الآلة–المسرِّعات التي تحطم الجسيمات معاً، والكواشف التي تفحص الكِسَر. وحيثما كانت هناك ثلاثة جسيمات، فإنه سرعان ما أصبحت مئات–رْهُوَات rhos، سيغمات sigmas، ثيتات thetas، كْسايات xis. واكتشاف نظام للتوفيق بينها يتطلب خاصيات رياضية أكثر غرابة. وفي الواقع، لن يمضي وقت طويل قبل أن يبدو أن الرياضيات "تكتشف" جسيمات قبل أن يفعل العلماء ذلك.

ففي عام ١٩٣١، حاول الفيزيائي النظري الانكليزي، بول ديراك، أن يميط اللثام عن الحقيقة المزعجة بأن معادلته التي تصف سلوك الإلكترون لها حلان، أحدهما سلبي، والآخر إيجابي. والدلالة هي أن هناك جزيئاً بالحجم نفسه كالإلكترون، غير أنه يحمل شحنة سلبية. وفي كالتش، وبعد عدة أشهر، لاحظ كارل أندرسون، الذي يدرس الأشعة الكونية بجهاز يسمى الغرفة الغيميَّة، جسيماً ترك مساراً كمسار الإلكترون ولكن ينحني في الاتجاه المعاكس، كما يسلك جسيم مشحون إيجابياً. وقال ديراك فيما بعد: "كانت المعادلة أكثر مني أناقة." لقد وُلِد البوزيترون[٢٤] positron، الذي تطور مؤخراً إلى رؤية أن كل جسيم له نظير في العالم المرآوي للمادة المضادة. فإذا صدف واجتمع معاً جسيم مادة وجسيم مضاد للمادة، فإنهما سيدمران بعضهما بعضاً في ومضة فوتونات.

وحوالي الوقت نفسه الذي ظهر فيه البوزيترون، كان إنريكو فيرمي يحاول جعل الظاهرة المحيرة التي تسمى النشاط الإشعاعي تتطابق مع المخطط دون الذري. وفي العملية، كان على العلماء أن يبتكروا أيضاً جسيماً أكثر مراوغة يسمى النيوترينو.[٢٥] ومنذ عام ١٨٩٦، عندما اكتشف الفيزيائي الفرنسي، هنري بِكِريل، النشاط

---

[٢٤]-الإلكترون الموجب الشحنة-المترجم.

[٢٥]-جسيم أولي، كتلته صفر، ومتعادل الشحنة، وينتقل بسرعة الضوء. ومعامل لفِّه $\frac{1}{2}$-المترجم.

الإشعاعي، وأدهشه أن يجد أن أملاح اليورانيوم تلقي صورها على الصفيحة الفوتوغرافية، حتى عندما تكون مغلفة بصفائح سوداء غير شفافة، تحيَّر العلماء حول كيف أنه يمكن للمادة أن تطلق أشعة غير مرئية. ويستطيع المرء أن يتخيل كيف يمكن لنواة مفككة أن تقذف بروتونات ونيوترونات وفوتونات عالية الطاقة (على شكل أشعة إكس وأشعة غاما). والأكثر غموضاً كانت حالة الاضمحلال البيتاوي، التي تقذف فيها نواةٌ إلكترونات. ويفترض أن هذه الجسيمات تحوِّم حول نواة، وليست مطمورة فيها. والأسوأ، هو أن عدداً من التجارب كان يشير ضمناً، كما يبدو، إلى أن الاضمحلال البيتاوي ينتهك المبدأ المعروف بحفظ الطاقة، إضافة إلى حفظ كمية الحركة الزَّاويَّة أو اللف. ومنذ اختراع المحرك البخاري، أقنع العلماء أنفسهم بأن الطاقة لا يمكن أن تُخلَق ولا تُدمَّر. فالحرارة التي تنبعث من الفحم وتبخر الماء في المرجل ستظهر على شكل طاقة تدوِّر العنفة؛ وعن طريق عزو أي نقص إلى الاحتكاك أو إشعاع الحرارة إلى الجو، فإنه يمكن دائماً المحافظة على التماثل. وكان الافتراض بأن ما يصح على المحركات البخارية يصح على النوى قفزة حقيقية. ونتوقع عالماً يحكمه القانون في كل مستوى. ولكن الطاقة التي تدخل إلى تفاعل نووي لا تضاهي الطاقة التي تخرج. وفي محاولة لإعادة العالم إلى نظام، اقترح وولفْجانج بولي، عام ١٩٣٠، أنه إضافة إلى الإلكترون، فإن الاضمحلال البيتاوي يجب أن ينتج جسيماً خالصاً ولكن غير مرئي (سماه فيرمي نيوترينو)، الذي ينقل ما يكفي من الطاقة ويلف لموازنة السجلات. وبعد ثلاث سنوات، اقترح فيرمي أن الاضمحلال البيتاوي حدث عندما تحول نيوترون (هو أثقل قليلاً من بروتون) بطريقة ما إلى بروتون وإلكترون. وفي العملية، خمن أن واحداً من هذه الأشياء التي تسمى نيوترينووات قد انطلق. علينا ألا نهتم أبداً بأن شيئاً اسمه نيوترينووات لم يكتشف. ولنفترض أن هذه الجسيمات الجديدة كانت دون شحنة أو كتلة، تطير عبر الكواشف الأكثر حساسية كأنها لا وجود لها. (تقرر فيما بعد أنه سيكون مفهوماً أكثر أن نسمي الجسيم الضائع في الاضمحلال البيتاوي نيوترينو مضاد بدلاً من نيوترينو.)

ولكن سحب جسيمات جديدة من جو رقيق لم يكن كافياً لتوضيح ما الذي يحمل نيوتروناً على التحول إلى بروتون في المقام الأول. والإجابة عن هذا السؤال تتطلب ابتكار شيء ليس أقل من قوة رابعة للطبيعة: القوة النووية الضعيفة. إن الكثير من مراتب العِظَم[٢٦] هي أضعف من القوة الكهرمغنطيسية (التي ساعدت على تعليل سبب عدم ملاحظتها)، والقوة الضعيفة تحول النيوترونات إلى بروتونات عن طريق تطبيعها مع بواطنها–أو كما سينتهي العلماء إلى الاعتقاد فيما بعد، عن طريق كواركاتها.

انقضى عقدان ونصف العقد قبل أن يتوفر دليل على أن النيوترونات موجودة. وأحياناً كان يبدو أن دورها يتمثل فقط في جعل الطاقة ومعادلات كمية الحركة الزَّاويَّة تتوازنان. وفي دفاعهم، سيزعم المجرِّبون أن الجسيمات كانت، في نهاية الأمر، دون شحنة وربما دون كتلة (على الرغم من وجود دليل اليوم على أن لها كتلة صغيرة جداً. وسيكون من المستحيل تقريباً حمل النيوترينو على التفاعل مع جسيم آخر، وهي الطريقة الوحيدة للتأكد من وجوده. وقد قيل إنه يستطيع أن ينطلق عبر الأرض، كأنها غير موجودة.

ولإنشاء كاشف للنيوترينووات، يجب القيام بالمزيد من التنظير حول القوة الرابعة المبتكرة حديثاً للطبيعة. ربما

[٢٦]-رتبة العِظَم هي تقريب إلى أقرب قوى العشرة-المترجم.

تستطيع القوة الضعيفة أن تعمل باتجاه عكسي: إذا كان يمكن أن يضمحل النيوترون إلى بروتون، مطلقاً إلكتروناً ونيوتروناً مضاداً، عندئذٍ، ومن أجل مبررات علم الجمال والتماثل، لماذا لا يمكن لبروتون ونيوترون أن يجتمعا معاً لإنتاج نيوترون وبوزيترون؟ وسيكون هذا كما لو أن التفاعل انعكس في مرآة. وعلى فرض الطبيعة الشبحية للنيوترينو، فإن فرص تصادمه فعلاً مع بروتون ضئيلة إلى حد التلاشي، مما يجعل اكتشاف التفاعل مستحيلاً تقريباً. ولكن، في عام ١٩٥١، اقترح عالم من لوس ألاموس، هو فردريك راينس، أنه ينتج في مفاعل نووي من النيوترينووات عن طريق انحلال الوقود المشع بما يكفي لكي تكون هناك فرصة طافرة لاكتشاف التحول النادر. وبعد سنتين، جهز هو وزميله، كلايد كُووِين، ما توقعا أن يكون الجهاز الصحيح للاكتشاف ووضعاه قرب مفاعل في هانفورد، واشنطن. وراحا يغامران. فأحياناً، يصدم نيوترينو من قلب المفاعل بروتوناً في كاشفهما المتقن التصميم ويولِّد نيوتروناً وبوزيتروناً. وتقول النظرية إن تصادمات مضاد المادة والمادة، تطلق فوتونات. وفي الوقت نفسه، ستمتص نواة أخرى النيوترون الناتج في المفاعل، وهو تفاعل يولِّد أيضاً فوتونات. ووفقاً للافتراضات التي تم على أساسها إنشاء الكاشف، فإن هذا النمط لانفجارات الضوء المزدوجة، التي يحدث أحدها بعد الآخر بفترات ميكرو ثواني، ستمثل النيوترينووات. وأخيراً، وفي ساڤانا ريفر، جيورجيا، اكتشف هذان العالمان، عام ١٩٥٦، ما كانا يشعران أنهما متأكدين منه، ألا وهو إمضاء الفوتون المزدوج. وبعد ربع قرن من اكتشافهما، أُعلِن أن النيوترينووات كانت حقيقية، ويتم توليدها اليوم وقياسها بالدرجة نفسها من الثقة كالإلكترونات.

اجتاز العلم شوطاً طويلاً منذ كانت تستخدم الأجهزة البسيطة كأجهزة أنابيب ثومسون لتفريغ الغاز، أو حتى الغرفة الغيمية التي ترك فيها البوزيترون مساره المنحني. ف "رؤية" النيوترينو، يجب على المرء أن يغطس العقل في جو النظرية والافتراض المعقد باضطراد. وعندما يقبله كحقيقة، فإنه يمكن استخدام النيوترينووات لفهم الظواهر الأخرى. وهكذا يصبح النسيج الشفاف للنظرية الذي يقع بيننا وبين العالم النووي محبوكاً بشكل أكثر وأكثر متانة في الشبكة.

عندما تزداد الرياضيات والآلية المختبرية قوة، فإن فك التكافل بين النظرية والتجربة يصبح أكثر صعوبة. فالمنظِّرون سيصفون الجسيمات التي يحتاجونها لجعل نماذجهم تعمل والمجرِّبون سيصممون أجهزة معقدة لالتقاطها من حطام أشعة المسرِّع المتصادمة. أو سيكتشف المجربون جسيمات في وابل الأشعة الكونية التي تقصف الأرض وسيفكر المنظرون حول ما يمكن أن تكونه تلك الجسيمات. وسرعان ما كان هناك مئات المرشحين للجُسَيْمِيَّة. وكان يجب تصنيف تلك الجسيمات التي قُبلَت إلى الواقع، وهكذا تم ابتكار المزيد من الأعداد الكمومية. وإضافة إلى الشحنة، واللف، واللف النظائري، قيل إن الجسيمات تبدي صفات تسمى النِّدِّيَّة، وتسمى أيضاً الغرابة، وربما تكون هي التسمية الملائمة أكثر. ولكن، على الرغم من كل هذه البارامترات الجديدة، أي هذه التماثلات، فإن النظام الذي نكتشفه ضئيل. وكنا نحتاج إلى مندلييف آخر، وظهر هذا تحت اسم موري جلّ-مان.

في عام ١٩٦١، وجد جلّ-مان، وكان في كالتش، أنه باستخدام الغرابة (التي ابتكرها وأطلق عليها هذه التسمية) واللف النظائري كمحورين، استطاع أن يخلق مكاناً فيه وفرة من الجسيمات التي سقطت في شقوب

خريطة هندسية أنيقة. وقد سميت أقدم الصخور في قاع الوادي الكبير باسم إله هندوسي–شِسْت[٢٧] فيشنو. وعلى سبيل الدعابة، أطلق جلّ–مان تسمية الطريق الثمانية على أساسه الرياضي الوطيد، تشبهاً بالوصف البوذي للحياة المتنورة. وهو، كمندلييف، اكتشف الثغرات التي يخلقها نظامه–جسيمات، كجسيم أوميغا السالب، التي ظهرت فيما بعد بوضوح في المسرِّعات. ولكن ما مولِّد هذا التوافق الداخلي؟ وفي حين ترتب على الكيميائيين أن ينتظروا اكتشاف الإلكترون والبروتون قبل أن يستطيعوا البدء بفهم الجدول الدوري، فإن جلّ–مان كان جريئاً بما يكفي لاختراع الجسيمات التي كان يحتاجها. واقترح أن برنامجه سيكون مفهوماً إذا كانت هناك جسيمات ضمن جسيمات–"كواركات،" وهو اسم وجده أيضاً أكثر جاذبية عندما علم أنه مُحتوىً في سطر من تلك الكتابات الأكثر غموضاً، *فِنِغن ويك* لجيمس جويس: "ثلاث كواركات لمستر مارك." (شدد على أن اللفظ السليم لكلمة "كوارك quark،"[٢٨] يكون بلهجة دوبلن: "كْوُورْهْك quorrhk.")

وفي استخدامهم الخاص للُّغة، أبدع جلّ–مان وزملاؤه المنظرون كما أبدع جويس. فإضافة إلى الشحنة، وهي شيء نعرفه في عالمنا، قيل إن الكواركات تحمل صفات مجردة تسمى "نكهة" و"لوناً." ولا علاقة طبعاً لهذه المصطلحات بالنكهة أو اللون؛ ويمكن أيضاً أن تسمى "تقوى" و"موهبة،" أو "حسد،" و"نهم." ويكمن جمالها فيما تعكسه، كما يبدو، من تماثلات جديدة أكثر خلخلة دائماً.

فيما يخص الكواركات التي تشكل مادة عادية، تسمى النكهات "علوية" و"سفلية." ويشكل كواركان علويان وكوارك سفلي بروتوناً ذا لفٍّ نظائري[٢٩] صاعد؛ ويشكل كواركان سفليان وكوارك علوي نيوتروناً ذا لفٍّ هابط. (عن طريق نقر كواركات علوية وكواركات سفلية، تستطيع القوة الضعيفة أن تحول البروتونات إلى نيوترونات وترجع من جديد.) وإضافة إلى ذلك، إن ابتكار تركيب للجسيمات الغريبة التي تظهر في الأشعة الكونية أو مسرِّعات الجسيمات، يتطلب الكوارك الغريب المعروف. وكما تتطلب النظرية، يجب أن يكون هناك عالم ظل كامل من الكواركات المضادة. فيجتمع كوارك وكوارك مضاد ليشكلا جسيماً يسمى ميزوناً meson. (الإلكترونات والنيوترينووات، التي تنتمي إلى العائلة التي سميت لبتونات leptons، لا تتشكل من الكواركات.)

ولكن ذلك كان مجرد بداية زخرفات لهذا المخطط المبدع. فوفقاً لمَثَل ميكانيكا الكم الذي يسمى مبدأ باولي للاستبعاد، لا يمكن لجسيمين أن يكونا في الحالة نفسها في الوقت نفسه. أو، بمعنى آخر، لا يمكن أن يحملا الأرقام الكمية نفسها. وبطريقة أخرى، قيل إن كل الإلكترونات في ذرة ما ستتخذ المسار الأقل مقاومة وتتعنقد مع بعضها بعضاً في الغلاف الطاقي الأصغر. يجب أن تكون كل الذرات متماثلة؛ ولا يمكن أن تكون هناك كيمياء. وفي تأملهم للعالم من خلال موشور الطريقة الثمانية، وجد الفيزيائيون أن الجسيمات، في الكثير من الحالات، تحتوي على كواركين يحملان أرقاماً كمومية متماثلة. وفضل العلماء افتراض صفة أخرى دون ذرية على إضافة حاشية ("كل الجزيئات، باستثناء الكواركات...") إلى مبدأ الاستبعاد. وماذا لو جاءت الكواركات أيضاً في ثلاثة "ألوان"؟ عندئذٍ، لن يكون هناك، في الواقع، كواركان متطابقان متشابهين في نهاية الأمر. ولهذا

---

[٢٧] صخر بركاني صفائحي-المترجم.

[٢٨] إضافة إلى كتب التاريخ العامة التي ذكرناها أعلاه، يمكن أن نجد تاريخ الكوارك في Quarks لـ Herald fritzch و The Hunting of the Quark لـ Michael Riordan

[٢٩] رقم كمي يميز الجسيمات التي لها الفعل نفسه المتبادَل القوي، ولكن تختلف في الفعل المتبادل الكهرطيسي، بحيث يمكن اعتبار هذه الجسيمات حالات مختلفة لجسيم واحد. ويكون لهذه الجسيمات الرقم الكمي نفسه للَّف، مثل البروتون والنيوترون-المترجم.

اقتُرِح أن هناك كواركات "حمراء،" و"خضراء،" و"زرقاء،" وهي سمات خيالية أكثر من تسمية الشمال الأزرق أو الغرب الأصفر، كما يفعل هنود التيوا.[٣٠] وعندما تجتمع هذه "الألوان" الثلاثة لتشكيل جسيم، فإنه يكون عديم اللون، كشعاع من ضوء أبيض. وهكذا، فإن الجسيمات، بالتعريف، لا تبدي لونها.

كان العلماء الآن يصنفون الكون بلغة الصفات التي لا يمكن، من حيث المبدأ، ملاحظتها. وهذه "الشحنة اللونية" المجردة إلى حد يدفع إلى الجنون لم تكن أقل من مولِّد للقوة القوية، الغراء الحقيقية التي توحد الكواركات مع بعضها بعضاً لتشكيل النويَّات والنوى. وتماماً كما تُحمَل الكهرطيسية بواسطة الفوتونات، يقال إن اللون يُحمَل بواسطة جسيمات تسمى الغُلْيونات gluons، التي تأتي في ثلاثة أنواع، ومسميات مثل: الأزرق المضاد للأخضر والأخضر المضاد للأحمر. والغُلْيونات، التي توحد الكواركات في مجموعات ثلاثية وثنائية، ساعدت على تشكيل الجسيمات التي تشكل النوى التي تشكل الجزيئات التي تشكل العالم.

حتى النكهات الثلاث والألوان الثلاثة لم تكن كافية لجلب النظام إلى الكون دون النووي الجامح. فعندما صنَّعت المسرِّعات جسيمات إضافية، كان مطلوباً كواركات إضافية: ليس فقط كواركات علوية، وسفلية، وغريبة، ولكن كواركات تسمى "فتنة،" و"قاعدة،" و"قمة." وقد سمي الكواركان الأخيران أيضاً "جمال" و"حقيقة"—الأسماء دعابة حول المدى الذي اجتزناه من اللف واللف النظائري إلى الصفات التي يمكن أن يدركها فقط عالِم رياضي. وعن طريق الامتداد إلى مسافة أبعد وأبعد إلى ما وراء وجهة النظر المحدودة للحواس، بدا أن العلم اكتشف مجموعة مبهرة من التماثلات.

في البداية، كان هناك شيء من الخوف من أنه لا يمكن أبداً للمرء أن يكتشف الكواركات في انفجارات المسرِّع. ولكن المنظِّرين أظهروا فيما بعد أن القوة القوية، التي تحملها الغُلْيونات، كانت تختلف عن أية قوة مُتَخَيَّلَة من قبل. ومع أن القوى التي يمكن أن نشعر بها، الجاذبية والكهرطيسية، تضعف مع المسافة—الفكرة تبدو تقريباً مبيتة في ما نقصده بقوة ومسافة—فإن القوة بين الكواركات أصبحت أقوى عندما فُصِلَت عن بعضها. ويمكن أن نتخيل هذه كنابض، إنما نابض لا يمكن أن ينكسر. وتجارب المسرِّع التي تستطير فيها البروتونات تُتَّخَذ، بصورة مباشرة، كدليل على أن هناك بنية للبروتونات—على أن هناك، في الواقع، نقطة صغيرة تتكتل في الداخل. ولكن الكواركات والغُلْيونات موجودة، من حيث المبدأ، في عالم نحن مستثنون منه إلى الأبد. ويقال إن جذب كوارك من بروتون يشبه محاولة اقتطاع قطب شمالي من حجر مغنطيسي: اقطع قدر ما تشاء من المرات، وستبقى دائماً مع حجر مغنطيسي كامل.

اكتسبت الإلكترونات اسمها، كما رأينا، من الكلمة اليونانية الكلاسيكية لكهرباء، تقديراً لاكتشاف الفلاسفة القدامى أن المادة اكتسبت جاذبية ملغزة عند فركها بقطعة من الصوف. والكواركات هي أصداء من سطر عند جويس. وكلاهما بُنىً نظرية، ووجودها لا يعتمد على كونه منفياً بالتجربة. ففي مطلع سبعينيات القرن الماضي، وفي تجارب أكثر بكثير دقة، وصعوبة، وكلفة من التجربة التي اكتشفت أولاً النيوترينووات بوصفها ومضات

[٣٠] في الواقع، إن ألوان التيوا التي خصصوها للجهات الأصلية قد لا تكون اعتباطية كالألوان التي خصصت للكواركات. أزرق (شمال) هو لون الجليد؛ أحمر (جنوب) هو لون النار؛ شرق (أبيض) من حيث تشرق الشمس؛ غرب (أصفر) حيث تغرب الشمس.

مزدوجة للضوء، لاحظ فريقان من الفيزيائيين حوادث سريعة الزوال يمكن تعليلها على أنها اضمحلال "ميزون فاتن،" تشكل، كما تتطلب النظرية، من كوارك فاتن وفاتن مضاد.

هناك شيء مذهل تقريباً حول مدى حسن فهم هذه المجموعة الاتساعية من المُرَشِّحات الأكثر تعقيداً دائماً لعالم قاصٍ، بالغ الصغر، التي تتنبأ وتعلل الظواهر التي يبدو أنها مثبتة في رذاذ الأنماط المتخلفة في الكواشف عن طريق حزم المسرِّعات المتصادمة. ومع مرور كل عام، كانت الرؤية من خلال التشوش دون الذري تصبح مستحيلة تقريباً دون الشبكة المنسوجة بأناقة. وكانت تصبح أصعب تقريباً معرفة مدى النظام المنسوج فعلاً في العالم وإلى أي مدى فرضه جوع الدماغ إلى النمط.

يقول لنا فلاسفة العلم إنه لا وجود لشيء اسمه ملاحظة مجردة. وطريقة تصميم التجربة وتفسير النتائج مطمورة في الشبكة المتسعة باستمرار للعقائد والافتراضات. وكما قال أينْشتاين: النظرية هي التي تسمح لنا برؤية الحقائق. ومع ذلك، عندما نرى صفيحتين رقائقيتين تتدافعان كأنهما تتنافران بشحنتين متماثلتين، أو نقطة على صفيحة في صمام مفرغ، فإنه يبدو من المعقول تماماً أن نؤمن بالإلكترونات. وهذه الظاهرة التي سميت الكهرباء تنشأ في الكثير من الأطر ويمكن أن يكون تشغيلها في غاية البساطة–كل ما نحتاجه بطاريات وأسلاك–حتى إنها تبدو، إلى حد بعيد، جزءاً من عالمنا.

ولكن، عندما نذهب من الإلكترونات إلى البوزيترونات إلى الكواركات، ومن أنابيب التفريغ المملوءة بالغاز إلى الغرف السَّحَابية إلى المسرِّعات التي تطلق إلى الكواشف حزماً متقنة جداً حتى أنها تعتبر من بين أكثر الأجهزة التي صنعت حتى الآن تعقيداً ودقة –يصبح التأكد من أن المجربين يلاحظون فقط ما يتنبأ به المنظرون أكثر صعوبة. فهناك فجوة واسعة بين المُشاهِد والمُشاهَد تم تفسير نتائجها، وهي لا تتألف فقط من معدات للكشف قيمتها ملايين الدولارات ولكن من معقد النظريات التي تم وفقاً لها تصميم المعدات.

حتى في التجربة الأكثر بساطة، هناك تشويشات عشوائية نسميها ضجيجاً. وعلى المرء أن يتخذ قراراً حول متى يتوجب عليه أن يبذل جهداً كبيراً لتخفيفه. ولتسجيل ناتج الحوادث النادرة الصغيرة إلى حد التلاشي التي تستمر أجزاء أجزاء من الثواني، يجب أن يكون الكاشف حساساً بقدر الإمكان. ولكن كلما كانت المعدات أكثر حساسية، كانت أكثر عرضة للضجيج. فهناك توازن ثابت بين التقاط الإشارة الضعيفة التي نبحث عنها وبين حجبها. وفي النهاية، عندما تكون المعطيات في الداخل، يتوجب اتخاذ قرار: أيها معطيات، وأيها ضجيج؟ ويثق المجربون بمقدرتهم على تمييز الإشارة من الضجيج، ولكن هناك دائماً خطر رؤية صور في السحب.

حتى عندما نستطيع فصل المقدمة عن الخلفية، فإنه، على الرغم من ذلك، نبقى في عجب: هل الطبيعة سببت القراءة، أم أنها كانت محجوبة بطريقة ما في تصميم هذه المكنة البالغة التعقيد؟ تحتاج النظرية إلى جسيم وهناك سباق لاكتشافه. فقد تم بناء الكاشف ثم جرى ضبطه وضبطه، حتى لوحظ الأثر المتوقع–الأثر، وليس الجسيم نفسه، الذي لا يمكن أن يعيش طويلاً بحيث يخلِّف مساراً. وأفضل ما نستطيع قوله هو أن الجسيم الافتراضي، الذي يعمل وفقاً للنظرية، تفاعل مع جسيم آخر افتراضي، يُبنى وجوده أيضاً من سلسلة طويلة من الاستدلالات، وفي نهاية هذه السلاسل من التفاعلات المفترضة، أُنتجَت فوتونات أو إلكترونات–الجسيمان المفهومان على نحو أفضل. تحجب الفوتوناتُ الصفائحَ الفوتوغرافية أو تصطدم بالخلايا الكهرضوئية، منتجة

إلكترونات. والإلكترونات هي التي تدفع مقاييسنا، التي نأخذ قراءاتها من وثب الفوتونات من القرص المدرج إلى شبكيات أعيننا، حيث تولِّد الإلكترونات من جديد، التي ترسل الإشارات إلى الدماغ. ويبدو أن كل شيء يهبط إلى الرقص بين هذه الجسيمات من الكهرباء وهذه الجسيمات من الضوء.

وإذا عدنا بتفكيرنا إلى الخلف، فإننا نفترض أن الظاهرة الجديدة موجودة هناك منذ البدء وقد اصطادها المجربون بمهارة. أو، لو أن الطريدة لم تُكتشَف أبداً، لأمكن أن تُدَّخَر النظرية التي تنبأت بها، على الأقل، إلى حين. وربما كان الجسيم كبيراً جداً مما يحول دون إنتاجه في المسرِّعات الموجودة–أو في أية مكنة يمكن بناؤها بشكل يمكن إدراكه. إن العلاقة بين الخريطة والأرض، في هذا المجال، دقيقة جداً. ويقلق بعض الفلاسفة من مدى السهولة التي تنتقل بها عدوى ما يسمونه الواقعية الاستعادية[٣١] إلى علم مرهف. فالتصميم التجريبي الذي قدم النتيجة الصحيحة اعتُبِر من وجهة النظر الاستعادية صحيحاً؛ أما التصاميم الأخرى التي فشلت في اكتشاف الظاهرة، فقد اعتُبِرت مخطئة. والجسيم موجود لأن وجوده أُثبِت بالتجربة؛ واعتُبِر تصميم التجربة صحيحاً لأنها اكتشفت الجسيم.

في تجربة مسرِّع، نحصل على معطيات أكثر مما يمكن أن نأمل في تفسيره؛ ويجري نخل هذه المعلومات بالحواسيب المبرمجة للبحث عن النماذج التي قضى المنظرون بأهميتها. والنظرية تقيد مدى البحث. ولكن ربما يكمن المزيد من الحقائق المهمة فيما اعتبرناه ضجيجاً. ويتناول الموقف الأكثر شكوكية، نجد هناك دائماً احتمال أننا نقوم ببساطة ببناء آلات كبيرة، أكثر تعقيداً مما نستطيع أن نفهمه تماماً. فنحن ندرس سلوكها في ظل ظروف مختلفة. وعندما تُعاد تجربة في مسرِّع آخر، فإن هذه ببساطة تكون مسألة بناء أو ضبط آلة أخرى حتى تسلك بطريقة مماثلة. وربما نكون مفسرين للآلات لا للطبيعة.

وبوسائلنا الناقصة، ربما نحن نتقدم ببطء واطِّراد نحو صورة أفضل وأفضل للعالم دون الذري، وهو حقل غريب جداً حتى أنه من المدهش ألا تستطيع عقولنا الدخول إليه البتة. والفيزيائيون يدركون تماماً أن أدواتهم ليست نوافذ شفافة على الطبيعة. وعندما نبتعد أكثر فأكثر عن الظاهرة اليومية، التي هي غامضة بما فيه الكفاية، لدراسة الحوادث التي تدوم لأجزاء من الميكروثانية–فقط في ظل ظروف موجهة بصورة أكثر مثابرة–فإن اكتشاف هذه الأنظمة المحجوبة يتطلب إيماناً إضافة إلى البراعة. والإيمان تدفعه عاطفة عالمية لاكتشاف تماثل في العالم.

أما وقد طور المنظرون نظريات منفصلة للكهرطيسية، القوة الضعيفة والقوة القوية، فقد شعروا بأنهم مجبرون على توحيد الأجزاء في كل واحد، نظرية موحدة شاملة. فأثبت ماكسويل أن الكهرباء والمغنطيسية هما وجهان مختلفان لقوة جديدة سميت الكهرطيسية. وفي ١٩٧٩، تسلَّم الفيزيائيون: ستيفن ڤاينبرچ، وعبد السلام، وشيلدون چلاشو جائزة نوبل لقاء إثباتهم أنه، من منظور مناسب، يمكن توحيد الكهرطيسية والقوة الضعيفة إلى شيء

---

[٣١] تم استكشاف الواقعية الاستعادية في Constructing Quarks لـ Andrew Pickering. ووُصِف علم الفيزياء الجزيئية التجريبي في The Particle connection لـ Christine Sutton وفي الكتاب المزين بالرسوم على نحو جميل The Particle Explosion، الذي كتبته مع Frank Close و Michael Marten. ومن أجل دراسة سوسيولوجية للحقل، انظر beamtimes and Lifetimes لـ Sharon Traweek. إن البحث عن نظرية موحدة كلية وُصِف بأناقة في Dreams of Final Theory لـ Steven Weinbrg. ومن أجل آراء شكوكية وأنيقة بدرجة مساوية، انظر Theories of everything لـ John Barrow و The End of Physics لـ David Lindley.

يسمى القوة الكهربائية الضعيفة. وواصلوا شرحهم حول كيف ينقطع هذا التماثل، حتى نكتشف قوتين مختلفتي الصفات. ولكن القوة القوية قاومت حتى الآن حشرها بشكل مريح في قالب. وكان على الفيزيائيين أن يقنعوا أنفسهم بالنمط العياري المعروف، الذي يتألف من نظرية القوة الكهربائية الضعيفة ونظرية القوة القوية اللتين تستقران جنباً إلى جنب ولكن ترتبطان جزئياً فقط. وعلى بعد، هناك نظرية الجاذبية: نظرية أينشتاين العامة في النسبية، التي لا تحمل أي شبه بالنمط العياري.

ووفقاً لهذه الصورة للعالم دون الذري، فإن المادة تتكون من نوعين من الجسيمات: (١) الكواركات، التي تتحد لكي تشكل بروتونات، ونيوترونات، ومئات الهادرونات hadrons الأخرى المعروفة؛ و(٢) اللبتونات leptons، التي تتضمن الإلكترونات والنيوترينووات–جسيمات لا تتشكل من كواركات. ويقال إن اللبتونات والكواركات، التي تسمى مجتمعة الفرميونات fermions، تشترك في شيء واحد هو لف $\frac{1}{2}$ وحقيقة أنها تمتثل لمبدأ باولي للاستبعاد. وهذه الجسيمات تنقسم إلى حد أبعد إلى ثلاث عائلات: العالم الذي نعرفه كل يوم يتشكل من إلكترونات، ونيوترينووات، وكواركات علوية وسفلية. ولكن يمكن أيضاً، مع جهد كبير، أن تتولد، للحظة أقصر، نسختان أكثر ثقلاً للإلكترون، هما: الميون والتوأون tauon، ولهما نيوترينووات خاصة بهما ويتحدان، على التوالي، مع كواركات القمة والقاعدة والغريبة والفاتنة.

وإضافة إلى الفرميونات، هناك البوزونات، التي تحمل قوى. ولها لف تكاملي (١ أو ٢) وتمتثل للقوانين التي وضعها الفيزيائي الهندي ساتندرا ناث بوز؛ وتستثنى من مبدأ باولي للاستبعاد. والفوتونات تحمل الكهرطيسية، وتحمل الغُلْيونات القوة القوية. أما القوة الضعيفة فتحملها جسيمات تسمى بوزونات متجهة، سميت W^+، وW^-، وZ^0. ولمبررات التماثل، يُفترَض أيضاً أن تكون هناك جسيمات تسمى غرافيتونات gravitons التي تحمل الجاذبية.

يبدو النمط العياري معيباً كالبلورات التي نجدها في الطبيعة التي لن تنتهي أبداً إلى أن تكون متماثلة كالبلورات المصورة في الإنسكلوبيديا. فالنيوترون والبروتون لهما تقريباً الكتلة نفسها. فلماذا لا تكون بالضبط هي نفسها؟ ولماذا لا تمتلك حَمَلَة الكهرطيسية والقوة القوية كتلة أو شحنة، في حين تكون حَمَلَة القوة الضعيفة عظيمة الكتلة ومشحونة؟ ولماذا العائلات الثلاث للمادة والأنواع الأربعة للقوى؟ فهل هناك سبب عميق لهذه الأرقام، أم أن ترتيبات أخرى هي السبب؟ ولماذا تتشكل بعض الجسيمات، لا كلها، من الكواركات؟ لا شيء في النمط العياري يتنبأ لماذا تمتلك الجسيمات المختلفة هذا الخليط من الكتل المختلفة. وفي حل هذه المشكلات، يجب على الباحثين أن يعيِّنوا الكتل من التجربة ثم يدفعونها إلى المعادلات باليدين.

ليس هكذا يجب أن يكون عالم حسن الصنعة. ففي كون متماثل تماماً، ستكون كل الجسيمات عديمة الكتلة، كالفوتون المثالي. ولهذا يبحث الفيزيائيون اليوم عما يسمونه مجال هيجز–الآلية التي سببت تمزق التماثلات، محدثة كل تلك الكتل البشعة، الاعتباطية فيما يبدو. وبما أن كل المجالات يجب أن يكون لها جسيمات مرتبطة بها، فإنه يجب أن يكون هناك بوزون هيجز، وهو ما يسميه الفيزيائي الأمريكي، ليون ليدرمان، على سبيل الدعابة الجسيم الرب. ولكن، لماذا لم نره حتى الآن؟ ذلك لأنه عظيم الكتلة مما يحول دون خلقه في مسرِّعاتنا الموجودة.

وهكذا، يبحث الفيزيائيون أيضاً عن هندسات أكثر دقة، تبدو فيها كل الجسيمات متشابهة. وتماماً كما أن القوة القوية لا تهتم فيما إذا كانت نوية ما أو بروتوناً أو نيوتروناً، فإن هناك قوة عميقة في عقول الفيزيائيين لا تهتم فيما إذا كان جسيم ما كواركاً أو لبتوناً (مع أن هذه القوة، وفقاً لإحدى النظريات، تتطلب اثني عشر غُلْيون X،" وكل منها عظيم الكتلة جداً حتى أنه لا يمكن اكتشافه بأي مسرِّع يمكن تصوره. وإضافة إلى ذلك، يبحث مخترعو نظرية الأوتار الفائقة عن تماثل عميق جداً إلى حد ستكون فيه الفرميونات (الكواركات واللبتونات) والبوزونات (جسيمات القوة) موحدة–كلها ستكون عُرىً تهتز بتواترات مختلفة في مكان متعدد الأبعاد. بهذه الطريقة المنكسرة، ستتوحد الجاذبية أخيراً مع القوى الأخرى الثلاث. ولكن الثمن الذي يتوجب دفعه لقاء هذا الاقتصاد الظاهري هو مضاعفة عدد الجسيمات في النمط العياري. وسيكون لكل فرميون بوزوناً شريكاً والعكس بالعكس، مما يوجِد ما يسمى أحياناً "سبارتكلات sparticles": كواركات، سيلكترونات selectrons، فوتينووات photinos، غرافيتونات، هجسينووات higgsinos، إلخ.

وفي خضم هذه الفوضى كلها، واسى علماء الفيزياء الجزيئية أنفسهم، كما فعل الكوزمولوجيون، بأسطورة خلق. فقبل زمن طويل، في اللحظات الأولى للانفجار الكبير، كانت درجات الحرارة عالية جداً حتى أن كل القوى، كل المادة، امتزجت إلى واحدة. ولكن، بعدئذٍ، تبرَّد الكون وتحطم التماثل، أي أن القوة الفائقة الوحيدة تشظت، واحدة واحدة، إلى أربع قوى منفصلة، لكل منها كواركاتها وجِبِلاَّتها الخاصة بها. ومن الغاز البدائي للكواركات، والإلكترونات، والنيوترينووات، والفوتونات تشكل المزيد من المادة الصلبة: كواركات تتجمد إلى بروتونات ونيوترينووات، التي اتحدت لتشكل ذرات الهيدروجين والهليوم؛ واتحدت ذرات الهيدروجين والهليوم لتشكل النجوم، وهي مولدات العناصر الأثقل. ثم اتحدت ذرات مع ذرات لتشكل الجزيئات، وأخيراً، على الأقل في هذه الزاوية من الكون، تطورت عرضياً خلايا، ومتعضيات وجمعيات–المزيد من التماثلات المفتتة، وقِطَع من انفجار عالم مثالي. ما كان أسهل الفيزياء فقط لو لم نُترَك في هذا الخلق الناقص، ننقب عن هندسات مفقودة! ونحن، كالغنوسطيين، نشعر بأننا محتبلون في مادة، ونتوق إلى الصعود إلى عالم متماثل تماماً وكله واحد. والعزاء هو أنه ما كنا لنخلق في عالم مثالي غير متمايز. فنحن هنا بسبب تكسر التماثلات. ويقول لنا المنظرون إنه في اللحظات الأولى لخلق متبلر تماماً، كانت هناك كمية متساوية من المادة ومضاد المادة. ولكن يبدو أن تموجاً عشوائياً، تماثلاً مكسوراً، أدى إلى أن يكون للمادة الحد الأدنى–ربما بليون كوارك وكوارك واحد مقابل كل بليون كوارك مضاد. وبعد أن قامت أكثر هذه الجسيمات والجسيمات المضادة بإبادة بعضها بعضاً، بقي هناك ما يكفي من المادة لتشكيل الكون.

الفصل الثالث

السمت

يبدو الجبار الصياد [الجوزاء] واضحاً جداً عندما يلاحظه المرء لأول مرة. وهو واحد من تلك الكوكبات النادرة التي تبدو، في الواقع، كأسمائها. نجمان هما: منكب الجوزاء والناجذ، يميزان كتفيه، ونجمان آخران هما: نَيِّر السيف ورِجْل الجبار، يميزان ساقيه. ومن حزامه، تطوق الخصر نجوم ثلاث ذوات نصوع متساوٍ تقريباً. ومن الطبيعي جداً أن تبدو هذه المصادر الضوئية الثلاثة مرتبطة بهذا النمط للساعة الرملية حتى أنه من الغريب أن ندرك، إلا من المنظور الضيق لنظامنا الشمسي، أنَّ أجزاء الجبار ليست قريبة إطلاقاً إلى بعضها بعضاً. ومع أن كل نجم في حزام الجبار يبعد حوالي ١٥٠٠ سنة ضوئية، فإن الحزام في أي مكان ليس قريباً من باقي جسمه. فيُقدَّر أن أحد الكتفين، الناجذ، يبعد حوالي ٣٥٠ سنة ضوئية عن الأرض. والكتف الآخر، منكب الجوزاء، يكون في جوار تقريبي–على بعد ٤٢٠ سنة ضوئية–إذا استطعنا أن نتغاضى بسهولة كبيرة عن ٧٠ سنة ضوئية (مسافة يجتازها الضوء في سبعة عقود). وتبعد عنا واحدة من ركبتي الجبار، الرِّجل، ١٠٠٠ سنة ضوئية؛ وتبعد الركبة الأخرى ربما ضعف هذا الرقم. وعند قدميه يربض كلبه الأمين، الكلب الأكبر؛ وهو نجمه الرئيس، الشِّعرى اليمانية، على بعد ٨.٦ سنة ضوئية لا غير.[٣٢]

يقول لنا الفلكيون إنه عندما ننظر إلى الجبار، فإننا نرى نجوماً منفصلة ليس فقط بالمسافة ولكن منفصلة في الزمن. في الجيولوجيا، نحن نزور الماضي عن طريق شق طبقات الراسب تحتنا؛ وكلما تعمقنا نزولاً، عدنا إلى نقطة أبعد في الزمن. وفي الكوزمولوجيا، كلما ابتعدنا بنظرنا، رأينا شيئاً أبعد في الزمن. ووفقاً للصورة التي رسمناها للسماوات، فإن الفوتونات التي تصدم شبكياتنا، كانت قد انطلقت قبل ألف سنة. وعندما نحدق عبر مناظيرنا، يخيل لنا أننا نصل إلى السموات. ولكن الفوتونات التي نحتبلها ونضخمها موجودة الآن طبعاً هنا في جونا. وكل ما نستطيع، في الواقع، أن نفعله هو أن نجلس هنا على الأرض ونتفحص الإشارات الكهرطيسية التي يصدف أن تجتاز عتبتنا–الموجات الضوئية، والموجات الراديوية، وأشعة X، وأشعة غاما التي تحمل لنا أنباء ما انتهينا إلى الاعتقاد بأنها مجرات تحلق بعيداً في كل الاتجاهات، مدفوعة بالانفجار القديم الذي سميناه الانفجار الكبير. وبعد تقدير سرعات المجرات ومدى بعدها عنا، نستطيع أن نعكس الفيلم في خيالنا ونتصور كامل الكون ينكمش إلى نقطة؛ ونستطيع أن نحسب رجوعاً ونقدِّر أن الانفجار يجب أن يكون قد حدث قبل حوالي ١٠–٢٠ بليون سنة. ولكن ما يقال هو إنه كان انفجاراً غريباً. فنحن نفكر بتفجر ما في المكان خلال فترة من الزمن. ولكن، قبل الانفجار الكبير، لم يكن هناك زمان، ولا مكان. والانفجار لم يخلق فقط المادة والطاقة بل الكون الذي يتمدد فيه.

وعلى فرض أنه لا شيء يمكن أن ينتقل بسرعة تفوق سرعة الضوء، فإن نظرية الانفجار الكبير تتضمن أن

---

[32] تختلف المسافات إلى النجوم من كراس دليل إلى آخر. وأنا أعتمد غالباً على Burnham's Celestial Handbook لـ Robert Burnham, Jr. و A Field Guide to the Stars and Planets لـ Donald Menzel و Jay Pasachoff. والقصة حول كيف طورنا صورتنا للسماء وردت على نحو جذاب في Coming of Age in the Milky Way لـ Timothy Ferris، و Constructing the Universe لـ David Lazer، و Lonely Hearts of the Cosmos، و Thursday's Universe لـ Marcia Bartusiak. وهناك بداية جيدة جداً لنص فلكي هو Astronomy: The Cosmic Perspective لـ Michael Zeilik و John Gaustard.

أقصى ما يمكن أن نرى ربما هو عشرة أو عشرين بليون سنة ضوئية في كل اتجاه. ولكن هذا لا يعني أنه لا يوجد شيء بعد هذا الحد. فمن موقعنا الممتاز على الأرض، يمكن أن نكتشف مصدراً للطاقة على بعد ١٥ بليون سنة ضوئية، في الاتجاه الذي نسميه بطرافة شمالاً، ثم ندير آلاتنا ونكتشف مصدراً آخر يبعد ١٥ بليون سنة ضوئية إلى الجنوب. وسيكون البعد بين هذين الهدفين ٣٠ بليون سنة ضوئية، ولن يصل ضوء أحدهما إلى الآخر. ومع التسليم بأننا لسنا في مركز الكون، فإنه يمكن الافتراض أن هناك أهدافاً تبعد عنا ثلاثين سنة ضوئية، ولكن لا نستطيع أن نراها. فالضوء الذي انطلق من أي شيء وراء أفقنا لم يتوفر له الوقت لكي يصل إلينا.

وفي محاولة لتفسير المادة matter، أي المادة stuff التي نستطيع أن نلتقطها بأيدينا، يُدفَع العلم بسرعة إلى حقول مجردة حيث يمكن أن نجد نمطاً فقط عن طريق إيماننا بالتماثلات الموجودة في حقول الرياضيات التي بالكاد يمكن الوصول إليها. إن استقراء كون من نقاط الضوء الدقيقة يتطلب أيضاً براعة وخيالاً كبيرين. وعلى مر السنين، طورنا ببطء صورة إجمالية للمخطط الكوني–نظرية الانفجار الكبير. ولكن الكون يرفض حتماً أن يُحشَر في صيغنا. وهكذا، انتهينا، كما في فيزياء الجسيمات، إلى الصقل والتنقيح، وتكديس التجريد فوق التجريد، في كفاح دائم في سبيل توافق أفضل.

نحن نستخدم النظرية والملاحظة، دعامة دعامة، لكي نرفع أنفسنا نحو السماوات، إلى أقصى ما نستطيع فوق الأرض. ولكن، إذا جردنا نسيج الأفكار والافتراضات والسلسلة الطويلة من الاستدلالات التي تحملنا إلى هذه المرتفعات، فما الذي نراه، ونحن نقف في التلال السفحية لجبال سانجر دو كريستوس، نحدق إلى السماء؟ نجوماً تبدو مستقرة، ما لم نحاول تعقبها بالتلسكوب أو نترك آلة تصوير فوق منصب ثلاثي القوائم مع فتح غطائها المتحرك. وما نراه عندئذٍ هو حركة كوكبنا التي تجعله يبدو وكأن السماوات تتحرك حولنا على شكل كرة سماوية عظيمة. وتُظهِر لنا السماء فقط بعدين، دون أن تقدم دليلاً على أن هذه الأضواء ليست أجساماً صغيرة جداً تقع كلها على بعد واحد منا. وأملنا الوحيد هو أن نقيس ما هو قريب ونثق بأنه يمكن أن نستخدم هذه المعطيات لسحب أنفسنا إلى مسافة أعلى في السماء.

بعد فترة من التحديق إلى الأضواء الساكنة البالغة الصغر، يُجفَل المرء أحياناً من الحلم بنجم يفلت فجأة من المجموعة، مشوشاً الشبكات الدماغية. ينتقل الضوء بسرعة كبيرة ليكون كوكباً سياراً–أو "متجولاً"، كما يسميه الأغريق، في محاولة لفهم النجوم التي انفصلت وتهيم عبر السماء. وهو مستقر جداً إلى حد لا يجعله نيزكاً. وفي كدحه غريزياً لتصنيف هذا الشذوذ المفاجئ، يطرح الدماغ فرضية–قمر؟–ويستدعي ذكريات الطفولة حول رؤية إيكو ١، الدهشة التي يسببها شيء ما بواسطة أناس انضموا إلى عرض سماوي للضوء، وكأن أحدهم رسم شعار الكوكاكولا على القمر، كما في قصة old Ray Breadbury.

وبسرعة، نرفض الفكرة، عندما نسمع صوت معدن يشق السماء–طائرة تطير شمال شرق من ألبوكيرك. يقتنع الدماغ، ويعود إلى التوازن، أي يخمد العجب–باستثناء شعور متبقٍّ حول كم هو غريب في الواقع أن يكون داخل ذلك الضوء البالغ الصغر يمكن أن يكون ثلاثمئة شخص، لكل واحد منهم سبب مختلف للذهاب إلى أومادا.

تنكمش الأشياء عندما تبتعد أكثر، وهي علاقة يبدو أنها مطمورة عميقاً في تركيب كعكة السمك هذه التي

نسميها الفضاء الذي قلما نفكر فيه دائماً. من نافذة سيارة، على الطريق العام، تمر دعامات السياج، الواحدة تلو الأخرى، بسرعة ٦٥ ميلاً في الساعة، وخلفها، تتحرك أعمدة الهاتف بسرعة أقل، وخلف هذه، تتحرك التلال بسرعة بطيئة أكثر – على امتداد الطريق إلى الجبال بالنسبة للأفق، تنقسم التربة الصلبة، طبقة طبقة، إلى مُتَّصَل من النطاقات بواسطة هذه الظاهرة التي نسميها حركة.

تتراءى الأشياء البعيدة أصغر وتبدو سرعتها أبطأ. وبهذه القاعدة البسيطة، المكتوبة في أجهزتنا العصبية بموجب نمونا على هذا الكوكب، نستطيع أن نحسب مدى بعد الطائرة إذا قارنا حجمها الحقيقي (نستطيع أن نتصل لاسلكياً بالطيار للحصول على المعلومات) مع الصورة المنكمشة التي نراها. أو نستطيع أن نقارن سرعتها الحقيقية بالسرعة التي يبدو أنها تعبر الجو بها. ومع ذلك، نحتاج هنا إلى المزيد من المعلومات. كل شيء آخر يكون متماثلاً، طائرة تطير عمودية بالنسبة لخط بصرنا سيبدو أنها تنتقل بسرعة أكبر من سرعة طائرة تطير في زاوية؛ وطائرة تطير من عندنا مباشرة، بدقة على امتداد خط بصرنا، سيبدو أنها لا تتحرك أبداً. وهكذا، يتوجب علينا أن نقسم الحركة إلى مكوِّنتين: مستعرضة (عبر السماء) وشعاعية (نحو المراقب أو بعيداً عنه).

مريح الاعتقاد بأن مجموعة الدارات الكهربائية العصبية نفسها التي تم تطويرها لمساعدتنا على القيادة عبر الغابات والجبال يمكن أن تستخدم لجذب بعد ثالث من القبة المسطحة فوق الرأس؛ وكما تظهر جبال جيميز بوضوح في شفق المساء، فإن السماء أيضاً تُظهِر ذرىً وودياناً محجوبة. في هذه الأيام، نحن واثقون بما يكفي بسلوك الموجات الكهرطيسية إلى حد نستطيع معه أن نقيس المسافة إلى القمر بواسطة الموجات الراديوية المرتدة المنطلقة منه وقياس تأخر الصدى. ولكن هناك طرق أكثر بساطة. فالمثلث، على سبيل المثال، له ثلاثة أضلاع، وثلاث زوايا؛ فإذا كنا نعرف قياسات ضلع واحد فقط وزاويتين، عندئذٍ يمكن أن نحسب البقية. فتعالوا نَقِس موقع القمر بالنسبة للنجوم البعيدة، التي تبدو ثابتة كالجبال بالنسبة للأفق، ولنضع أحدهم على مسافة معروفة تأخذ، في الوقت نفسه، القياس نفسه. فإذا استخدمنا الفرق بين الموقعين الظاهرين، أي اختلاف المنظر، لاستطعنا أن نحسب أن القمر يبعد عنا ٢٤٠٠٠٠ ميلاً–قيادة سيارة خلال سنة إذا سمحنا لأنفسنا بتناول الطعام والراحة. وبالمثل، نستطيع أن نقيس المسافة للكواكب ونُثبِت أن الشمس تبعد عنا ٩٣ مليون ميل (ثمان دقائق ضوئية).

ولكن اختلاف المنظر سيحملنا فقط جزءاً صغيراً جداً من الطريق صعوداً على السلم. فحتى أقرب النجوم أبعد بكثير مما يسمح لنا التغير الخلافيمنظري الذي يمكن كشفه من أية نقطتين على الأرض–كوكبنا ليس واسعاً بما يكفي. وللوصول إلى مسافة أبعد في الفضاء، علينا أن نستخدم مدار الأرض حول الشمس كقاعدة لمثلثنا. لنقم بملاحظتين لقِنطورسات ألفا تفصل بين الواحدة للأخرى ستة أشهر، من نقطتين متقابلتين في مدار الأرض، وسوف نجد فرقاً صغيراً جداً في موقعها الظاهري بالنسبة للستارة الخلفية للسماوات. ولكن، إلى أي مدى صغير هو ذلك الفرق؟ لننظر من الأفق إلى نقطة متخيلة مباشرة فوق الرأس؛ فيجتاز بصرنا زاوية ٩٠ درجة. ولنتخيل الآن واحدة من تلك الدرجات ونقسمها إلى ٦٠ دقيقة ونقسم كلاً من تلك الدقائق إلى ٦٠ ثانية. إن اختلاف منظر قنطورسات ألفا هو أقل من ثانية من الدرجة. ووصل هذا الرقم بمعادلات مثلثية يعطي مسافة ٣.٤ سنة

ضوئية. وبالطريقة نفسها، نستطيع أن نَظهِر الشِّعرى اليمانية على بعد ٨.٦ سنة ضوئية منا؛ والنسر الطائر، في كوكبة برج العقاب، على بعد ١٦.٦ سنة ضوئية. ولكن، بعد حوالي ١٠٠ سنة ضوئية، يكون حتى اختلاف المنظر من حركة الأرض حول الشمس صغير جداً إلى حد لا يمكن اكتشافه.

كيف إذاً نستطيع أن نقدِّر بُعْدَ شيء ما كمنكب الجوزاء، وكيف نستطيع أن نتكلم عن الكويزَرات التي تبعد عنا بلايين السنوات الضوئية؟ والسماء منثورة بأضواء النيِّرات–أو الأجرام، كما يقول الفلكيون. ولكن لا يمكن أن نعرف البعد عن نيِّر ما لم نتمكن من الاتصال لاسلكياً بالنجم، كقائد تلك الطائرة، ونسأله عن نصوعها الذاتي–كم هي ساطعة.

فيما يتعلق فقط بالنجوم الأقرب حولنا، تعتمد قياساتنا على نظرية ورياضيات أكثر تجريداً من اعتمادها على علم المثلثات البسيط. نبدأ بمنارة سماوية قمنا بقياس بعدها، غالباً بالطرق المباشرة أكثر، وبعدئذٍ، وباستخدام نظرياتنا في الفيزياء الفلكية، نحلل خصائص ضوئها ونخمن ما يمكن أن يكون سطوعها الذاتي. وعندئذٍ يصبح الجسم ما يسميه الفلكيون شمعة عيارية. فإذا استطعنا أن نكتشف جسماً مماثلاً في جزء آخر من السماء، عندئذٍ يمكن أن نفترض أنه من السطوع الذاتي نفسه؛ وإذا بدا معتماً أكثر بقليل، عندئذٍ يمكن الاحتجاج بأنه أبعد من الجسم المرجعي. لنفترض أن هذا الضوء المقاس حديثاً هو جزء من مجموعة نجوم أو مجرة. وربما يستطيع الآن واحد من جيرانها أن يعمل كشمعة عيارية. هنا يصبح لدينا تقدير لبعدها عن الأرض؛ وإذا عرفنا ما يكفي عن فيزيائها، عندئذٍ يمكن أن نخمن شدتها الحقيقية ونستخدمها للوصول إلى مسافات أبعد. طبقة طبقة، نبني بيتاً من ورق الشدة، وكل طبقة تستند إلى أساس مقلقل وكل منها يُظهِر تبجحنا النظري.

إذا نظرنا إلى الدب الأكبر وسددنا على امتداد النجوم القطبية، أي النقاط التي تشكل نهاية المغرفة، فإننا نرى بولاريس، نجم القطب. وعلى غرار المصابيح الحمراء الوامضة على الأبراج الراديوية فوق جبال سانديا، فإن نجم القطب يدور ساطعاً إلى معتم–ليس في ثواني ولكن بدورات أربعة أيام. وقريباً، في كوكبة قيفاوَس، لوحظ نجم قيفاي دلتا منذ عام ١٧٨٤ يختلف بشكل متواتر في السطوع، من معتم إلى ساطع إلى معتم ثانية كل ستة أيام. وفي عام ١٩١٢، أثناء دراسة صور السحب الماجلانية، اكتُشِفَت مجرتان في سماوات نصف الكرة الجنوبي من قبل طاقم فرديناند ماجلان، حيث رأت هنرييتا سْوُون لِفِت، من مرصد جامعة هارفارد، عدداً من هذه النجوم النابضة–المتغيرات القيفاوَسية المعروفة–واكتشفت علاقة مشوقة: كلما كان الوميض أبطأ، كان النجم أكثر سطوعاً. وبما أن كل هذه القيفاوَسيات كانت في التشكيل نفسه، أي السحب الماجلانية، كان يمكن الافتراض أن النجوم تقع تقريباً على مسافة متساوية من الأرض. ولو افترضنا أن علاقة ليفييت تصح على كامل الكون، لاستطاع الفلكيون الآن أن يكتشفوا قيفاوَسيْن لهما الدورات نفسها ويفترض أن يكون لهما السطوع الذاتي نفسه. وإذا بدا أحدهما معتماً أكثر من الآخر، فإنه، في الواقع، يكون أبعد. وباستخدام قانون التربيع العكسي–جسم أبعد من جسم آخر بمرتين، يكون سطوعه بقدر ربع سطوع الجسم الأقرب–استطاع الفلكيون أن يحسبوا البعد النسبي لكل منهما عن الأرض.

ومع أن القيفاوَسات قدمت أدلة للمسافة النسبية، فإنها لم تقل شيئاً حول المسافة المطلقة. وتمثلت المشكلة في أن أحداً لا يعرف كم تبعد السحب الماجلانية عن الأرض. وقبل أن يتمكن العلماء من استخدام المقياس

المعياري القيفاوَسي، توجب عليهم أن يعايروه، للعمل بأقصى ما يمكن من الثقة على تحديد بعدٍ واحدٍ، على الأقل، من هذه النجوم الوامضة. ومن المريح القول إن الفلكيين اكتشفوا ببساطة قيفاوَساً، قيس بُعدُه باختلاف المنظر، وتوصلوا إلى شمعة عيارية. ولكن الواقع هو أن نجم القطب، القيفاوَس الأقرب، بعيد جداً إلى درجة لا يمكن معها قياس أدنى إزاحة اختلافيمنظرية؛ وقد تبيَّن بطرق أخرى أنه يبعد عنا حوالي ٨٠٠ سنة ضوئية.

ولحساب المسافات إلى أقرب القيفاوَسات في درب التبانة، احتاج العلماء إلى خط قاعدي أطول من قطر مدار الأرض. وهكذا راحوا ينظرون إلى حركة الشمس. فالشمس، التي تسحب النظام الشمسي معها، تدور حول المسار الحلزوني المجرِّي لدرب التبانة. وعلينا أن ننتظر فترة طويلة بما يكفي لنجد أن موقع النجوم الأقرب بالنسبة للستارة الخلفية للنجوم والمجرات الأكثر بعداً ستتغير دائماً بصورة ضئيلة جداً. ومن اختلاف المنظر هذا، بدا أن المرء سيكون قادراً على حساب مسافاتها.

لماذا نصدق أن الشمس تتحرك؟ في عام ١٧٨٣، بيَّن وليم هيرشل أنه عندما نظر أحدهم نحو كوكبة الجاثي، تمكن من اكتشاف نجوم بدت له تتحرك بمرور السنين، كأنها تنتشر على شكل مروحة من نقطة متخيلة، كشدفات الثلج التي تُرى من خلال الحاجب الزجاجي لسيارة تتحرك؛ ومن نقطة مقابلة في السماء، باتجاه كوكبة الحمامة، بدت النجوم ميالة إلى الالتقاء في نقطة، كشدفات الثلج التي تُرى من خلال مرآة الرؤية الخلفية. وقد فسر هيرشل هذا بوصفه خداعاً بصرياً سببته حركة الشمس خلال العاصفة العنيفة من النجوم.

يمكن أن نحسب سرعة هذه الحركة الظاهرية باستخدام ظاهرة أخرى تسمى ظاهرة دوپلر. تتحرك صوبنا ذرى ومنخفضات الموجات الصوتية مندفعة مع بعضها بعضاً إلى درجة يزداد معها تردد الإشارة. وعندما يرتد المصدر، تنتشر الموجات نحو النهاية السفلى للمقياس؛ ويهبط التردد. وإذا اعتبرنا الضوء كموجة، عندئذٍ يمكن أن نأخذ هذه الظاهرة الأرضية التي تستخدم لتعليل ارتفاع وهبوط طبقة صفير القطار، ونطبقها على السماء. فالنجوم التي تسرع مبتعدة عنا ستنتشر موجاتها الضوئية، التي تهبط في انحدار نحو النهاية الحمراء الخفيضة التردد للطيف؛ والنجوم التي تتحرك نحونا ستنزاح نحو النهاية الزرقاء. وباستخدام ظاهرة دوپلر، نستطيع أن نقدِّر عدد النجوم المزاحة إلى الأزرق في كوكبة الجاثي ونحسب حركة الشمس عبر المجرة على أنها ٢٠ كم في الثانية.

والآن، إذا كان هذا كله صحيحاً، عندئذٍ يمكن أن نقيس موقع نجم، ثم نقيسه ثانية بعد سنوات. وآنذاك نستخدم سرعة شمسنا لحساب المسافة بين هذين الموقعين المناسبين –قاعدة المثلث. وإذا تماثلت كل الظروف، فإن التغير الواضح للنجم من حيث الموقع سيعطي اختلافاً للمنظر، ومن هذا نحسب بعده عن نظامنا الشمسي.

ولكن، هناك مشكلة مفروضة. فالنجوم ليست مثبتة في الفضاء، بل تتحرك أيضاً كالشمس؛ وأشكال الكوكبات تتغير بصورة مراوغة. فكيف يمكن أن نعرف مقدار ما يعزى من زحزحة النجم في الموقع إلى حركة فعلية، ومقدار ما يعزى منها إلى خداع اختلافيمنظري؟

وكما هي الحال مع سرعة طائرة بعيدة، يجب أولاً أن نميز بين حركة مستعرضة، تتقاطع مع مجال الرؤية، وحركة شعاعية، ترحل على امتداد خط البصر. هنا تكون ظاهرة دوپلر هي ملاذنا الوحيد: بقياس الزحزحة الحمراء أو الزرقاء للنجم، نجعل الفيزياء تكشف لنا سرعة الحركة الشعاعية، أي ما سرعة حركتها نحونا أو بعيداً

عنا. ولكن لا يمكن أن نعرف القيمة المطلقة للسرعة المستعرضة، أي السرعة عبر السماء، ما لم نعرف بعد النجم–تبدو حركة النجوم القريبة أسرع من حركة النجوم البعيدة، كدعائم السياج التي تسرع على جانب الطريق العام.

هذه المسافة، طبعاً، هي التي نحاول، بالدرجة الأولى، أن نقيسها. فكيف نستطيع أن نفلت من هذه الأنشوطة؟ إذا نظرنا إلى *مجموعة* من النجوم وكان لدينا ما يبرر الاعتقاد بأن بعدها عنا واحد تقريباً، عندئذٍ يمكن أن نضع افتراضاً مبسطاً بأن اتجاهات حركاتها الذاتية عشوائية–بعضها يتحرك في هذه الطريق، وبعضها في تلك. إحصائياً، ستُبطِل الحركات إحداها الأخرى. وهكذا، عندما نتابع شمسنا عبر المجرة، يمكن، بشكل مريح، أن نتجاهل كم من حركة هذه المجموعة من النجوم يعزى إلى حركتها الخاصة وكم تعزى زحزحتها في الموقع إلى اختلاف المنظر. وباستخدام هذه الشعوذة الرياضية لليد، قام هارلو شَپْلي، من مرصد ماونت ويلسون، بحساب *معدل البُعد* لثلاثين قيفاوَساً في درب التبانة، واستخدم ذلك الرقم لكي يحسب علاقة الفترة–السطوع عند لِفِت، الذي كان يأمل أن ينطبق على كل القيفاوَسات في كل مكان. ووفقاً لهذا المقياس المعياري، فإن السحب الماجلانية كانت تبعد حوالي ٣٠ ألف سنة ضوئية. والاعتقاد السائد اليوم هو أن المسافة أكبر بسبعة أضعاف، مقياس صعوبة المهارة.

وفي الواقع، تجري اليوم معايرة القيفاوَسات باستخدام قياسات أخرى، هي أيضاً، على الأقل، غير مباشرة. فعن طريق دراسة أنواع مختلفة من النجوم–العمالقة العظام، العمالقة الحمر، العمالقة الزرق، الأقزام البيض–التي يمكن قياس مسافاتها باختلاف المنظر أو وسيلة ما أخرى، يعتقد الفلكيون أنهم اكتشفوا علاقة بين درجة حرارة نجم، ونوعه، وسطوعه الذاتي. ونأخذ درجة حرارة نجم عن طريق تحليل طيفه، باستخدام قوانين إشعاع الجسم الأسود التي شغلت بال پلانك. وبافتراض أن هذه القواعد تصح خارج جوارنا، فإنه يمكن أن نخمن مسافات النجوم الأبعد: نستخدم طيف النجم لكي نضعه في صنفه المناسب، ثم نقارن السطوع الظاهري للنجم بالسطوع الذاتي الذي يملكه ذلك النوع وفقاً لتنبؤ النظرية. وأخيراً، نستخدم قانون التربيع العكسي لحساب مدى بعده عنا.

وهكذا نذهب، من القمر إلى الشمس إلى النجوم. وكلما وصلنا إلى نقطة أبعد عن الأرض، تصبح القياسات منطمرة أعمق في نظرياتنا للفيزياء النجمية، التي تعتمد بدورها على الديناميكا الحرارية، وميكانيكا الكم، والفيزياء النووية التي نعتقد أنها تمد النجوم بالطاقة. وحتى هذه الطرق، بكل شكوكها وافتراضاتها، يمكن أن تصل بنا فقط إلى هنا. فالتلسكوبات الأرضية يمكن أن تحلل النجوم المنفردة على بعد ٣٠ مليون سنة ضوئية (مع أن تلسكوب هابل الفضائي المداري وسَّع هذا المجال). ومن أجل مسافة أبعد نستخدم كامل المجرات كشمعات عيارية. فأي نوع من مجرة هي؟ وما مقدار الطاقة المنبعثة من مجرات مماثلة، نحن أكثر تأكداً تقريباً من مسافاتها؟ ولكن، عندئذٍ نواجه المشكلة التالية: وفقاً لنظرية الانفجار الكبير، إن الضوء المنبعث من المجرات الأقرب، والمعروفة أكثر، أي المجرات التي نستخدمها كمعايير، هو أكثر حداثة من ذاك المنبعث من المجرات البعيدة. ونحن لا نعرف ما إذا كانت المجرات في الأزمنة الأكثر حداثة تسلك كما سلكت المجرات قرب بداية الخلق. أو ما إذا كانت القوانين الفيزيائية هي نفسها. فنضع ثقتنا في مبدأ الانتظام. وتصبح قياساتنا حتى أقل موثوقية، وتغرق

دائماً في النظرية كلما ازداد مركزناً حرجاً.

إن الطريقة التي نعتمد عليها أكثر لقياس هذه الامتدادات التي بالكاد يمكن تخيلها هي الزحزحة الحمراء. وفي مطلع عشرينيات القرن الماضي، استخدم الفلكي الأمريكي، إدوين هابل، القيفاوَسات لإظهار أن الغيوم السديمية هي مجرات ضخمة، بعيدة وليست رهَجاً بسيطاً مجاوراً من الضوء، كما كان يعتقد منافسه هارلو شَبْلي. فعندما قاس المسافات إلى مجرات مجاورة، استخدم هابل مقياس الطيف لتحليل لون ضوئها. ولو افترضنا أن النجوم الأبعد والأقدم في الزمن مكوَّنة من المادة نفسها كالنجوم الأقرب، أي من الهيدروجين والهليوم، لكان يجب أن تبدي الأنماط نفسها من الخطوط الطيفية. وفي الواقع، أظهر هابل في عشرينات القرن الماضي أنه كلما كانت المجرة بعيدة عن الأرض، كما قدَّر من نبوض قيفاوَساتها، بدا قوس قزحها الطيفي أكثر انزياحاً نحو الطرف الأحمر للطيف. وأدرك الفلكيون بسرعة أن ملاحظات هابل، مع الافتراضات المناسبة، يمكن اتخاذها كسند أقوى لكون متمدد، أكثر من عزو هذه الظاهرة إلى العمر، الذي يستنتج أنه، لسبب ما قديم، تشع المجرات الأبعد ضوءاً أكثر حمرة. ووفقاً للانفجار الكبير، فإن النجوم الأكثر بعداً تتراجع عنا، كما يبدو، بسرعة أكبر. وتتضمن ظاهرة دوبلر أن ضوءها ينزاح نحو الطرف الأحمر للمقياس. ولقياس إلى أية درجة ترتبط الإزاحة نحو الأحمر بالمسافة، اخترع هابل مقياساً معيارياً نستخدمه للوصول إلى الحافة نفسها للكون الذي يمكن ملاحظته، ويقيس مسافة أي شيء نستطيع أن نكتشف موجاته الكهرطيسية. فكلما كان الجسم أكثر حمرة، كان تراجعه أسرع؛ وكلما كان تراجعه أسرع، فإنه يكون أبعد. إن نظرية القيفاوَسات، التي أُكمِلَت باستنتاج ما إحصائي معقد، حملتنا إلى مجرات قريبة. فعندما نستخدم الإزاحة نحو الأحمر كمقياس للمسافات الأبعد، فإننا نفترض صحة الانفجار الكبير. ودون إطار نظري، ستكون الملاحظات الفردية دون مغزى.

استخدم هابل طريقته لحساب أن نصف قطر الكون الذي يمكن ملاحظته هو بليوني سنة ضوئية، وبالتالي يكون عمره (وفقاً للانفجار الكبير) بليوني سنة. ولكن الجيولوجيين استخدموا مقياسهم الخاص-السرعة التي ينحل فيها اليورانيوم إلى رصاص-لحساب أن عمر الأرض نفسها هو ضعف ذلك العمر. وأن شيئاً ما يجب أن يؤدي إلى مكان ما. وفيما يناسب علم الفلك، تقرر فيما بعد أن هناك أكثر من نوع واحد من القيفاوَسات، وكل منها يجب معايرته على نحو مختلف. وخلط هابل خطأً بين الاثنين. وما إن حُشِرَت الأرقام الجديدة بالمعادلات، حتى تضاعف حجم الكون بين عشية وضحاها. وتطلب ما يعرف بثابت هابل عدة تعديلات إضافية للاقتراب من كون اليوم: نصف قطر بمدى ١٠-٢٠ بليون سنة ضوئية. ونتوقع أن تتواصل التنقيحات.

وفي العقود التالية، أصبحت صورة الانفجار الأولي والكون المتمدد ملزمين إلى درجة علِقت معها المعطيات بها كما تعلق برادة الحديد بالحجر المغنطيسي، منظمة نفسها بهذه الطريقة الجديدة المدهشة. وفي عام ١٩٤٨، تنبأ جورج چاماو، ورالف ألفر، وروبرت هيرمان بأنه إذا كان الكون قد بدأ فعلاً بالانفجار الكبير، فإن الفضاء يجب أن يكون قد اختُرِق بالتوهج اللاحق، على شكل إشعاعية خلفية. وفي عام ١٩٦٤، عندما اكتشف آرنو بنزايِس وروبرت ويلسون[٣٣] أن هوائي الموجات الدقيقة التجريبي في مختبرات بيل في نيوجرسي قد ابتُلي بهسيس خلفي، بصرف النظر عن الاتجاه الذي يشير إليه، فإنهما خمنا أن حمامة تجثم في داخله هي سبب المشكلة.

---

[33] ورد وصف قصة Penzias و Wilson في العديد من الكتب، بما فيها Three Degrees Above Zero لـ Jeremy Bernstein.

وتم طرد الطيور وتنظيف الروث، ولكن الشواش استمر. وأدت استشارة الفلكيين الراديويين في جامعة برنستون إلى استنتاج أن ويلسون وبنزايس كانا يقيسان إشعاعاً أحفورياً من الانفجار الكبير. وهكذا، لم يتم فقط امتصاص وتعليل اللغز، بل أصبح واحداً من أكثر الأدلة إقناعاً للانفجار الكبير.

وعلى مدى السنوات، أصبحت الشبكة السماوية ثخينة أكثر فأكثر بخيوط الدعم التبادلية. وحيثما أمكن، تم قياس المسافات بعدد من الطرق المستقلة. وعندما تلتقي هذه الطرق على أجوبة متماثلة، فإنه يمكن أن نعتبر ذلك كتوكيد لإحكام النسيج، وقوة الشبكة. فكلما أصبحت المستويات السفلية لبرجنا السماوي أكثر صلابة، نأمل أن يستبدل لعب الورق بالآجر والملاط.

عندما تصطدم الملاحظة مع النظرية، أو الفطرة السليمة، فإنه يجب إيجاد طرق لتفسير التناقض. في عام ١٩٣٠، كان روبرت ج ترمپلر، وهو فلكي في مرصد ليك، يدرس مجموعات من النجوم تسمى العناقيد المفتوحة عندما اكتشف علاقة غريبة بين أقطارها وبعدها عن الأرض: دون سبب واضح، بدا أن العناقيد القريبة كانت صغيرة الأقطار، والعناقيد البعيدة كانت كبيرة الأقطار، وأن في وسطها تدرجاً في الأقطار. هذا قانون غريب في الواقع، يدل ضمناً على أن الأرض تحتل مكاناً خاصاً في الكون: في وسط حلقات متراكزة من عناقيد نجمية أوسع باضطراد. وكان ترمپلر يظن أنه ربما كان هناك خطأ ما في الافتراض خلف حساباته. لقد قاس بُعْد عنقود بمقارنة ما كان يعتقد أنه سطوعه الذاتي بمدى سطوعه كما يبدو من الأرض. ثم قاس قطره الظاهري وحسب كم يجب أن يكون واسعاً في الواقع. ولكن ماذا لو كان هناك شيء ما في الفضاء–غبار بين نجميّ، مثلاً–يمتص بعضاً من ضوء النجوم؟ عندئذٍ سيكون العنقود، في الواقع، أقرب مما يبدو، والإعتام يسببه جزئياً الغبار، وليس البعد. وإذا كان أقرب، فإنه يجب ألا يكون كبيراً كما كان يُفترَض أصلاً لكي يبعث الكمية نفسها من الضوء. وبدلاً من ذلك، إذا افترضنا أن القطر واحد في كل العناقيد، عندئذٍ سيسبب الغبار بين النجميّ خداعاً بصرياً: العناقيد الأبعد ستبدو أكبر لأن ضوءها يعبر قدراً أكبر من الغبار بين النجمي.

ولقياس مدى التضليل الذي يمارسه الحطام بين النجميّ على مقاييسنا الخاصة للمسافات،، يجب أن نعرف كم يوجد من الغبار بيننا وبين الجسم الذي نحن بصدده. ولكن كيف نقيس كمية الغبار دون معرفة المسافة، التي هي ما نحاول أن نحدده في المقام الأول؟ يجب أن نوسع افتراضاتنا، وننظر من جديد إلى عالمنا الخاص من أجل التشابهات. نفترض أن ضوء النجوم يحمرُّ بسبب الغبار بين النجميَ تماماً كما تحمرُّ الشمس والقمر بسبب الغبار في الغلاف الجوي. وهكذا، نحن نتنبأ من نظرياتنا في الفيزياء النجمية حول كيف يجب أن يكون لون نجم ما ونستخدم الاحمرار لقياس كثافة الغبار. وندرس بدقة التقدير بالقياسات الأخرى، التي تؤخذ من وجهات نظر أخرى، التي تضيف المزيد من الخيوط إلى النسيج النظري.

وهكذا نحاول، دون خبرة، إصلاح أنماطنا. ومن موقعنا المناسب على هذا الكوكب البالغ الصغر، نبني كوناً. ففي عام ١٩٦٣، اهتز إيمان بعض الفلكيين لرؤيتهم أجساماً ذات زحزحات حمراء شديدة جداً إلى حد قُدِّر معه أنها تبعد بلايين السنوات الضوئية، وتبيَّن أن كلاً منها يبعث طاقة مئة مجرة. فما الذي عساه أن يرسل قدراً كبيراً من الضوء؟ وأغرى البعضَ استنتاجُ أن طريقة هابل كانت خاطئة، وأن بيتنا السماوي المؤلف من بطاقات،

بقياسات بنيت فوق قياسات مبنية فوق قياسات، كان على وشك أن ينهار. ربما كنا قد أسأنا، إلى حد خطير، فهم العلاقة بين المسافة، والسرعة والزحزحة الحمراء. أو ربما كانت الزحزحات الحمراء لا تسببها ظاهرة دوپلر إطلاقاً، بل خصوصية مجهولة للفيزياء النووية. وإذا لم تكن الزحزحات الحمراء قياسات صحيحة للمسافة، عندئذٍ يمكن أن تكون هذه المنارات الجبارة إلى حد سخيف أقرب وأقرب بكثير. فكان البديل قبول أن هذه المصادر– التي نسميها اليوم أجساماً شبه نجمية، أو كويزرات–هي، في الواقع، أجسام نشيطة إلى حد خيالي عند الحافة عينها للكون الذي يمكن ملاحظته، وقد تم إحداث فرع كامل للفيزياء الفلكية لتعليل ما عساها أن تكون.

في مطلع ثمانينيات القرن الماضي، عندما جوبه الفلكيون بالمشكلة المربكة من أنه– بانتهاك النسبية الخاصة–تراءى أن بعض الكويزرات تبعث نفثات من المادة تنتقل بأسرع من الضوء، فإن بعضهم أغراه الافتراض بأن الكون أصغر بكثير؛ فإذا كانت الكويزرات فعلاً نجوماً قريبة، عندئذٍ يجب أن تنتقل النفثات ببطء أكبر بكثير. وانفرج التوتر عندما اكتُشِفَت طريقة لرفض السرعات غير القانونية للنفثات بوصفها وهماً بصرياً تسببه الزاوية التي تصادف عندها رؤية أبناء الأرض للحوادث.

يمكن أن نتعاطف مع بطليموس وطبقاته لأفلاك التدوير. فعندما لا نستطيع حمل الأنماط التي نبنيها على إعطاء ما تكتشفه آلاتنا، فإننا نقوم بإدخال تعديلاتنا الخاصة، على أمل أن التاريخ سيُرينا عالِماً بالغيب أكثر من العلماء بمركز الأرض. يا لمهارة عقولنا في تلطيف الشواشات، وامتصاص الشذوذات، وإعادة الغريب إلى أرض المألوف عندما نستقصي العالم من أجل الأنماط، ونحاول دائماً أن نوسعها إلى زوايا جديدة من الكون!

ولكن، يجب أن يكون هناك شيء ما في قاعدة أبراجنا النظرية، أساس نبني عليه، شيء ما نستطيع أن نتخذه كمبدأ. فعندما ظهرت النفثات الفائقة السطوع، لم يقترح أحد الانقلاب على النظرية النسبية الخاصة لأيْنشتاين.[٣٤] فلماذا نحن واثقون جداً من أن سرعة الضوء لا تُنتهَك؟

قبل أيْنشتاين، لم يكن الضوء مقياساً لكل شيء بل "الأثير،" وهو العنصر الخامس عند أرسطو. وكانت العناصر الأربعة الأولى عند أرسطو–التراب، والهواء، والنار، والماء– قد تم التخلي عنها منذ زمن طويل بوصفها مقومات أساسية في الوصفة الكونية. ولكن التخلي عن الجوهر الأثيري، الذي قيل إنه يملأ الحيز داخل الذرات وبين النجوم، كان أكثر صعوبة. وكان الظن السائد هو أن شيئاً ما يعمل كحامل للموجات الضوئية التي تعبر حزمتها الفضاء. ويجب أن يكون هناك شيء ما يقوم بفعل التمويج. وكما كتب ماكسويل نفسه متحمساً، فإن الكون "مليء بهذا الوسط العجيب؛ مليء جداً إلى درجة لا تستطيع أية قدرة بشرية أن تزيله من أصغر جزء من الفضاء، أو تسبب أدنى خلل في متواصليته اللانهائية. فهو يمتد من نجم إلى نجم دون انقطاع..."

وعندما وضع ماكسويل توحيده الرائع للكهرباء والمغنطيسية، أصبح بقاء إيمانه بالأثير أكثر صعوبة. ففي عام ١٨٨٧، أنجز الأمريكيان، ألبرت ميشيلستون وإدوارد مورلي، التجربة الشهيرة التي بدا أنها تُظهِر أن لا شيء يملأ الشقوق في الكون، لا ستارة خلفية سماوية–مجرد فضاء فارغ. وباستخدام جهاز المواشير والمرايا، قسَّم العالمان حزمة ضوئية، فأرسلوا قسماً لينتقل في اتجاه مدار الأرض حول الشمس والآخر عمودياً عليه.

---

[34] وردت قصة آينشتاين ونظريات النسبية بشكل لطيف في Lincoln لـ The Universe and Dr. Einstein، و Jeremy Bernstein لـ Einstein. ومن أجل معالجة رياضية واضحة جداً للنظرية النسبية Abraham Pias وهي سيرة حياة Subtle Is the Lord، وبصرامة كبيرة في Barnett الخاصة، انظر Spacetime Physics لـ Edwin Tylor و John Archibald Wheeler.

وكانا يفترضان أن الـ "ريح الأثيرية،" التي تسببها حركة الأرض خلال وسط غير مرئي، ستعمل على إبطاء الشعاع الأول (كان يكافح ضد التيار). وقد أدهشهما اكتشاف أن سرعة الشعاعين كانت متماثلة بدقة.

إن تفسير تجربة دقيقة جداً ليس مسألة بسيطة أبداً. وعندما تفشل تجربة في إثبات فرضية إلزامية–كان ميشيلستون ومورلي يتوقعان تماماً أن يكتشفا الأثير–فهذا إشارة إلى أنه يمكن أن يكون هناك تناقض بين صورتنا للطبيعة وبين ما هي الطبيعة عليه في الواقع. ولكن، كما أشار فلاسفة، مثل ويلارد كواين وبيير دوهيم، فإن اختلاف التراصف هذا يمكن أن يوجد في أي مكان في الشبكة الواسعة للحقائق والافتراضات المتضمنة في تصميم التجربة، وتنفيذها وتفسيرها.

وفي محاولة بطولية للاحتفاظ بفكرة العنصر الخامس لأرسطو، رأى عالما الفيزياء جورج فتسجيرالد وهندريك لورنتس أن نتيجة ميشيلستون–مورلي كانت خداعاً بصرياً سببته حتى اليوم حقيقة كونية غير مكتشفة: الأشياء تتقلص، دائماً بصورة طفيفة جداً، في الاتجاه الذي تسافر فيه. وشعاع الضوء الذي يتحرك مع الأرض عوقه الأثير في الواقع، ولكن جهاز القياس تقلص في ذلك الاتجاه–المسافة التي اجتازها الشعاع كانت أقل. لقد تآمر الانكماش عند فتسجيرالد–لورنتس على إظهار أنه لم يكن هناك أثير. هذا الافتراض لم يكن خاصاً بالقدر الذي يبدو عليه اليوم. ومع ذلك، عرف العلماء منذ عصر فاراداي أن شحنة متحركة تكوِّن مجالاً مغنطيسياً. عندما تحركت عصا القياس، ربما ولَّدت شحنات ذراتها مجالاً ضغط الجزيئات إلى مسافة أقرب إلى بعضها بعضاً. والحقيقة هي أن أحداً لا يستطيع، كما يبدو، أن يقيس الانكماش. ولكن ربما كان هذا جزءاً من مؤامرة الطبيعة: عندما تحركت الأرض عبر الفضاء، كنا نحن، وكل شيء آخر في عالمنا، ننكمش في الاتجاه نفسه.

وفي نظريته النسبية الخاصة، رأى آينشتاين أن المؤامرة كانت خبيثة أكثر بكثير مما افترض فتسجيرالد أو لورنتس. وفي عمله هذا أدخل مطلقه الجديد، أي سرعة الضوء، معيِّناً رصيفاً لكي ننشئ أبراج ملاحظتنا عليه. ومهما اجتهد المرء في النظر، فإنه لن يرى أبداً أجهزته الخاصة تنكمش. ولكن رأى أنه لو استطاع المرء، بطريقة ما، أن يلاحظ مختبراً في إطار مرجعي آخر–ربما في سفينة فضائية تتحرك بسرعة ثابتة–لبدا له أن أولئك العلماء كان ينجزون قياساتهم بأجهزة منكمشة. وهم، عندما ينظرون إليك، يظنون أن أجهزتهم دقيقة تماماً؛ وأن مختبرك هو الذي بدا متحركاً وأجهزتك هي التي تقلصت. فمن ذا الذي كان يتحرك فعلاً وينكمش؟ هذا السؤال كان، في نظر أيْنشتاين، لا معنى له. ويجب أن تؤخذ تجربة ميشيلستون–مورلي في ظاهرها: ليس هناك أثير، أي أنه لا يوجد إطار مرجعي مميز لقياس الحركة وفقاً له. فالحركة يمكن قياسها فقط بالنسبة إلى شيء آخر.

إن مضامين نظرية أيْنشتاين لا تفشل أبداً في إثارة دهشتنا مهما تكرر سماعنا بها. فالجسم، في الحركة النسبية، يزداد من حيث الكتلة، وتبطئ عدَّادات سرعته. هناك حادثتان يتراءى أنهما متزامنتان في إطار مرجعي واحد يمكن أن تبدوا مستقلتين إذا نظرنا إليهما من إطار مرجعي آخر. فلم يعد مطلقاً المكان، والزمان، والكتلة أكثر من الأثير الوهمي؛ وهي مجرد علاقات نقيسها بعصي القياس، والساعات، والموازين–أجهزة تعتمد قراءاتها على حركتها النسبية. ولكن الغرض من كل هذا لم يكن عدمياً. فالهدف النهائي للمؤامرة كان قانونية مطمورة على عمق أكبر من ذي قبل. وبافتراض كميات مألوفة كالزمان والمكان لكي يوسع ويقلص الحرية، ضمن

آينشتان أنه من أي عدد لا متناهٍ للمواقع المناسبة المتحركة للكون، سيكون العلم هو نفسه. وفي الكون، وفقاً لأيْنشتاين، سيكتشف كل المراقبين القوانين الطبيعية نفسها. فعندما يتحرك مختبران خلال المكان بسرعتين مختلفتين، فإن الطول سيتقلص، والزمان سيبطئ، والكتلة ستزداد فقط بما يكفي لضمان أن تبدو القوانين التي تحكم الخلق هي نفسها في كلتا المنطقتين. وإذا نظر العلماء إلى ما بعد أطرهم المرجعية الخاصة، فإنهم سيقيسون كميات مختلفة، ويرون أرقاماً مختلفة على أقراصهم المدرجة، ولكن العلاقات بين الكميات–بنية الجهاز–ستبقى هي نفسها: الطول يتقلص، والكتلة تزداد، والزمن يتسع تماماً بما يكفي لمعادلة الأشياء.

طبعاً، يجب أن يكون هناك حد لهذه الاتساعات والتقلصات. فعندما نراقب جسيماً يسرع أكثر فأكثر، فإن كتلته، عند نقطة ما، ستصبح لا نهائية، وطوله صفراً، وعدادات سرعته متجمدة ساكنة. وهذه السرعة الحدِّيَّة، في نظرية أيْنشتاين، هي سرعة الضوء. لا شيء يمكن أن يتحرك بسرعة أكبر، ومهما كانت السرعة التي يتحرك بها المرء، فإن سرعة الضوء هي الشيء الوحيد الذي يبدو دائماً هو نفسه.

سلَّم لورنتس جدلاً بأنه يجب أن يكون هناك أثير–ذلك الذي يسبب الاهتزاز–وافترض أن منطق علم الفيزياء التقليدي كان صحيحاً. وأن نتيجة تجربة ميشيلستون–مورلي–حزم الضوء التي انتقلت بالسرعة نفسها مهما كانت سرعة الجسم الذي يبعثها–كانت شذوذاً يجب توضيحه. تخلى أيْنشتاين عن هذه الافتراضات بوصفها تحيزات وبيَّن أن الحقائق نفسها يمكن تشييدها إلى بناء مختلف كلياً إذا حولنا الشذوذ إلى مسلَّمة: الضوء ينتقل بالسرعة نفسها بصرف النظر عن سرعة المراقب. وبيَّن كيف يجب إعادة بناء الكون بطريقة مختلفة.

في إعادة البناء هذه، إن بعض الأشياء التي كانت تعتبر مطلقة، أصبحت الآن تعتبر نسبية. ولكن ما أصبح ثابتاً احتفظ بالأهمية نفسها. فإذا تغيرت بعض الأشياء–مكان، زمان–فإن الأشياء الأخرى يجب أن تبقى على حالها. ومع كل شيء يتحرك بالنسبة إلى شيء آخر، فإنه يجب أن يكون هناك نوع من غراء يثبت الأشياء مع بعضها بعضاً، وهو معيار يأخذ في عين الاعتبار عالماً حساساً.

هناك أسباب ملزمة للتساؤل لماذا يجب أن يكون الضوء–أو، وهو الشائع أكثر، الكهرطيسية–منسجماً مع هذه الشريعة. وبقدر ما نستطيع القول، فإن الضوء هو الوسيلة الأسرع التي يمكن بها لشيء ما أن يعرِّف بوجوده، والتي يمكن بها لحادثة أن تؤثر في حادثة أخرى. ففي كل تجارب التفكير بالمختبرات التي يتحرك أحدها بجانب الآخر بسرعات مختلفة، فإن الوسيلة التي يدرك بها أحدها وجود الآخر هي الكهرطيسية: يمكن لكل منها أن يراقب الآخر بالتلسكوبات، أو إرسال إشارات لا سلكية. وفيما يتعلق بهذه المسألة، كيف ندرك أي شيء فيما وراء كوكبنا، حيث يسمح لنا غلافنا الجوي أيضاً بالاتصال مع إشارت أكثر محدودية كالصوت والرائحة؟ فنحن نستقبل إشارات، معلومات، على شكل حزم ضوئية، موجات لا سلكية–كهرطيسية.

إذا كان هناك حد أعلى للسرعة التي يمكن بها إرسال المعلومات، فإن الكون سوف يسمح بفعل فوري من على بعد؛ أو، حتى أسوأ، عكس السبب والنتيجة–المستقبل يمكن أن يرسل إشارات إلى الماضي. صحيح أن نظرية الكم تقدم لنا إمكانيات على الرغم من أنها غريبة تقريباً. ولكن لكي يكون هناك كون ملتزم بالقانون مع جدار صارم بين الماضي والمستقبل، السبب والنتيجة، فإنه يجب أن يكون هناك حد أعلى لسرعة إرسال الإشارات، سرعة السببية، سرعة الضوء. وأياً كانت تسميتنا له، فإن هذا الثابت للكون يعتبر اليوم كل شيء

باستثناء كونه مقدساً–شرط أساسي لعالم عقلاني. وإذا كان مقدراً لبيت البطاقات أن ينهار دائماً، فإنه سيعاد بناؤه على الأساس نفسه. ففي العلم قليل حول ما يجعلنا نشعر أيها الموثوق جداً.

وفيما بعد، قام مورلي ودواينتون كليرنس ميلر،[٣٥] زميل ميشيلستون، بتكرار تجربة ميشيلستون–مورلي لمعرفة ما إذا كان بالإمكان إزالة الشكوك حول نتائجها المخيبة عن طريق بارامتر ما غير معترف به. بعد أخذ كل شيء بعين الاعتبار، كانت التجربة الأصلية قد أجريت في دور أرضي. وربما لو أجريت على هضبة... ولكن النتائج جاءت هي نفسها. وعلى الرغم من ذلك، وفي وقت متأخر يعود إلى عام ١٩٢٥، أي بعد عقدين من أبحاث أيْنشتاين حول النسبية الخاصة، أعلن ميلر، وكان عندئذٍ رئيس الجمعية الفيزيائية الأمريكية، أنه اكتشف برهاناً لا لبس فيه على أن الأثير موجود في نهاية الأمر. ولكن في هذا الوقت، عملت سرعة الضوء على زحزحته تماماً بوصفه مقياساً ذهبياً للكون. فقد رفض أيْنشتاين الموجودات بسهولة، مشيراً إلى أنها يمكن أن تعزى إلى اختلافات درجات الحرارة في جهاز القياس.

في خلق صورة للكون، من الطبيعي أن يبدأ العلماء بأنفسهم في المركز، أي بالجنس البشري بوصفه مطلقاً. وبمرور القرون، وعندما أصبح تأييد الوهم أصعب وأصعب، أمكن حتى الآن أن نتوقع أن معظم تجاربنا المباشرة–مرور الزمان، المرور عبر المكان–كانت مطلقة. ومع ذلك، إذا لم نكن جالسين ساكنين في مركز الخلق، عندئذٍ نستطيع، على الأقل، قياس حركتنا بالمقابلة مع الأثير الساكن.

ولكن في الرؤية الجديدة، لا شيء ساكن. ودون أثير، نستطيع فقط أن نقيس حركتنا بالنسبة إلى شيء آخر. ولكن على الرغم من هذه النسبية، فإننا، في الواقع، نبقى دعاة للمطلق. ففي إعادة صياغة خريطتنا للسماوات في المصطلح الأيْنشتايني، كنا حريصين على الاحتفاظ بمركزية السبب والنتيجة ووجود قوانين كونية علمية.

ولكن الكفاح يتواصل لتفسير المعطيات التي نجمعها بحيث تمتثل للقوانين التي نعتقد أننا تنبأنا بها. ومع رسوخ رصيف النسبية الخاصة تحت أقدامهم، ثابر الفلكيون على تضليلنا بكون أكثر غرابة بكثير مما استطاع أسلافهم أن يتخيلوا. وعلَّمنا أيْنشتاين أن الضوء يسود. ولكن في محاولتهم لتفسير تيار الملاحظات الفلكية المتنافر باطِّراد، اضطُّر العلماء إلى استنتاج أن معظم الكون يتألف من مادة يبدو، لأسباب مجهولة، أنها لا تبعث ضوءاً.

بدأت الحاجة إلى مادة معتمة تتسلل إلى الكوزمولوجيا قبل الحرب العالمية الثانية عندما لاحظ الفلكي الهولندي جان أورت والفلكي الأمريكي السويسري فرِتس زفيكي أن المجرات تسلك وكأنها أكثر ضخامة بكثير مما تبدو. فإذا كان يمكن الركون إلى قياساتنا للمسافات، فإن المجرات، بما فيها درب تبانتنا، تلفُّ بسرعة أكبر مما توقعته قوانين الفيزياء–سريعة جداً، في الواقع، إلى درجة أنه يجب أن لا تكون موجودة، لكونها انسابت منفصلة منذ زمن طويل. فيتوجب علينا إما أن نخفض مرتبة قوانيننا في الجاذبية (كما وضعها نيوتن وعدلتها النظرية النسبية العامة لأيْنشتاين) إلى مرتبة شذوذات محلية أو يجب أن نبتكر شيئاً يجعل المجرات تتماسك مع بعضها بعضاً–المادة غير المرئية التي يبدو أنها لا تبعث إشعاعاً، أو تبعثه ضعيفاً جداً بحيث يتعذر اكتشافه.

---

[35] ورد وصف محاولة ميلر لإحياء الفرضيات الأثيرية وردّ أنشتاين السريع في Subtle Is the Lord لـ Pais. الصفحتان ١١٣-١١٤.

ويمكن أن نعرفها فقط عن طريق تأثيراتها الثانوية، وهي ظواهر غير مفهومة في الإطار النظري الحاضر ما لم نبتكر جاذبية أكبر، أي كتلة أكبر. وطوال سنوات، رأت قياسات إضافية، اعتماداً على هذه الحجج وحدها، أن نسبة المادة غير المرئية إلى المادة المرئية، هي عشرة إلى واحد.

ولكن ذلك لم يكن سوى بداية الارتباك. فعلى مدى سنوات، والكوزمولوجيون يشيرون إلى استواء الإشعاعية الخلفية، أي الأمواج الدقيقة الكلِّية الوجود التي نفسرها بوصفها التوهج اللاحق للانفجار البدئي، كدعم مذهل للانفجار الكبير.[٣٦] فتراءى أنها تمطر بدرجة الحرارة نفسها في كل مكان نصبوا هوائياتهم الطبقية. ولكن كان الكوزمولوجيون كلما نظروا، أصبحوا أكثر خوفاً من إمكانية أن يكون الإشعاع مستوياً جداً. فالتوهج اللاحق المستوي تماماً، يشير، كما يبدو، إلى كون مستوٍ مبكر، يجعل من الصعب تفسير لماذا نلاحظ اليوم بنىً واسعة النطاق–مجرات ومجرات لمجرات يتراءى أنها تمتد بقدر امتداد رؤيتنا.

وهكذا خضعت الكوزمولوجيا إلى تحول في التشديد. فبعد الإعجاب الذي ظهر مراراً بمدى انتظام الإشعاعية الخلفية وتجارب الأداء المتكررة لتوطيد هذا الاستواء، أصبح الفلكيون اليوم بحاجة إلى إشارات من شذوذات مخاتلة–عيوب يمكن أن تكون تضخمت عن طريق الجاذبية إلى التكتل الذي نراه اليوم. وباستخدام الأقمار الصناعية وأكثر من أي وقت مضى، الكواشف الحساسة، تفحصوا الإشعاع بحبيبة بلُّورية دقيقة أكثر وأكثر. وكلما كانوا ينعمون النظر، كان الإشعاع يبدو أكثر استواء. وأية شذوذات كان يجب أن تكون، في الواقع، ضئيلة جداً.

وفي الوقت نفسه، كانت البنى التي يحتاج تكوينها إلى تعليل تصبح أكبر وأكبر. وفي أواخر ثمانينيات القرن الماضي، اكتُشِف أن عدداً كبيراً من المجرات لا يبتعد عنا بالطريقة المنتظمة التي تتنبأ بها نظرية الانفجار الكبير. ولتفسير هذا الانحراف، اضطرُّ المنظِّرون إلى استنتاج أن شيئاً ما ضخماً إلى حد ما كان يكبح تلك المجرات عن السير. وهكذا أعلنوا عن وجود تجمع الكتلة، بحجم بضع مئات ملايين السنوات الضوئية، حتى أنهم أطلقوا على ذلك التجمع تسمية **الجاذب العظيم**. واكتشف فلكيون آخرون دليلاً لسلسلة عملاقة من المجرات: **السور العظيم**.

كان من الصعب الخلاص من استنتاج أنه حتى عشرة أو عشرين بليوناً من السنين–عمر الكون الذي تم التنبؤ به بواسطة الانفجار الكبير–لم تكن زمناً كافياً تقريباً لالتحام مثل هذه التكوينات الضخمة من المادة. فالجاذبية، ببساطة، لم تكن قوية بما يكفي. وقد أُلهِم بضعة منظِّرين إلى أن يفترضوا وجود قوة خامسة لمساعدة المادة على الالتحام. واقترح آخرون إدخال تعديلات على قوانين الجاذبية، وهي طريقة لتحويلها إلى قوة أكبر قدرة. واقترحت مناورة أكثر محافظة أن نوعاً من مادة معتمة يوفر ما يكفي من جاذبية إضافية لإحداث التجمد.

في البداية، كان الفيزيائيون مفعمين بأمل أن هذه المادة المعتمة ستثبت أنها تشبه مادة عادية، فتكون انبعاثاتها ببساطة ضعيفة جداً بحيث يتعذر على أجهزتهم اكتشافها. وربما كان الكون مليئاً بنجوم معتمة جداً أو ثقوب سوداء، تلك الدوامات الثقالية التي يقال إنها تمتص كل شيء حولها، بما في ذلك الضوء. وربما كان ما

---

[36] إضافة إلى كتب التاريخ العامة حول علم الفلك والفيزياء الجزيئية التي ذكرناها أعلاه، نجد أوصافاً جيدة لتطور نظرية الانفجار الكبير في Anccient- Light لـ Alan Lightman و The First Three Minutes لـSteven Weinberg. وقد وردت قصة المادة المظلمة بصورة جديرة بالاعتماد في Voyage to the Great attractor لـ Alan Dressler. وهناك وصف شفاف ومحكم في The Fifth Essence لـ Lawrence Krauss.

يكفي من الطاقة معوقاً في تلك الدوامات لموازنة المعادلات.

إن وجوب اعتبار الثقوب السوداء مرشَّحات محافظات Conservative candidates لمادة معتمة هو معيار لمدى ما أصبحت عليه تعليلاتنا من تخلخل. فاكتشاف الثقوب يتطلب من أحدنا أن يغوص عميقاً إلى ينابيع النظرية. وحتى في تلك الحال، فإن الثقوب السوداء الوحيدة التي يستطيع المرء أن يراها دون لبس هي تلك الموجودة في نظرية النسبية العامة لأينشتاين، التي تتضمن أنه إذا كان نجم منهار ضخماً بما يكفي فإنه سيواصل انهياره إلى الأبد، شاقاًّ ثقباً صغيراً عديم الأبعاد في النسيج الزمكاني.

ولكن، بالنسبة للكثير من الكوزمولوجيين، حتى هذا التعليل، الذي بدا غريباً إلى حد الوقاحة، لم يحقق نجاحاً كافياً. فهناك، عدا الملاءمة النظرية، مبرر بسيط للاعتقاد بأن هناك ما يكفي من الثقوب السوداء لتعويض العجز الثقالي. وقد بحث تلسكوب هابل الفضائي عبثاً عن وفرة من النجوم المعتمة التي يتطلبها المنظرون. واضطُّر الكثير من الكوزمولوجيين، في محاولتهم لتصحيح مشكلات أخرى في قصة الخلق الكوني، إلى استنتاج أن المادة المعتمة تختلف عن مادة الكواكب، والبشر، والنجوم.

واعتماداً على الكثافة الإجمالية لمادته، يمكن أن يكون الكون في واحدة من ثلاث حالات. فإذا كانت الكثافة منخفضة، فإن المكان سيكون منحنياً سلبياً وسيكون الكون "مفتوحاً،" ليصبح مخلخلاً أكثر فأكثر لأنه يواصل التمدد إلى الأبد. وإذا كانت الكثافة عالية بما يكفي، فإن المكان سيكون منحنياً إيجابياً وسيكون الكون "مغلقاً": سيئز التمدد بسرعة وينكفئ كامل الخلق على نفسه بصوت سحق كبير. أو يمكن أن يكون للكون الكثافة الضرورية لكي يكون المكان "مسطحاً،" مما يمنحه توازناً بين مفتوح ومغلق. إن سنوات من الملاحظة والحسابات أقنعت الكثير من المنظرين بأن الكون مسطح، في الواقع، مع تمدد هابل نحو الخارج الذي يتوازن بشد الجاذبية الضَّامّ نحو الداخل. وعلى نحو ملزم أكثر، ربما، يبدو أنه لو لم يكن الكون مسطحاً، لكان يجب أن ينهار منذ زمن طويل أو لأصبح مخلخلاً جداً إلى درجة يتعذر معها وجود مجرات، ولا نجوم، ولا نحن.

هنا تكمن المشكلة: إذا كان الكون مسطحاً، فإنه لن تكون هناك، فيما يبدو، مادة عادية كافية تقريباً–معتمة ومضيئة متحدتين–لتوفير الجاذبية الضرورية لموازنة التمدد. فالنجوم المضيئة يمكن أن تفسر تقريباً ١% من الكثافة اللازمة. والنجوم المعتمة والثقوب السوداء التي يمكن الاستدلال عليها دون رؤيتها، بإضافتها عشرة أضعاف المادة المعتمة الافتراضية، ترفع الكثافة إلى ١٠% من الكثافة اللازمة للتسطح. وبالتالي، ما الـ ٩٠% الأخرى؟ يبدو أنه يجب أن تكون شيئاً ما غريباً تماماً. في الواقع، ووفقاً لحجج أخرى، إن الوفرة النسبية للعناصر الضوئية–الهيدروجين، والديوتريوم، والهليوم، والليثيوم–تفرض أن كرة النار التي انفجرت قبل حوالي عشرة أو عشرين بليون سنة، كانت تتألف من لا أكثر من جزء بسيط جداً من مادة "باريونية"[٣٧] عادية–البروتونات والنيوترونات التي كان لدينا يوماً مبرر تام للاعتقاد بأنها تشكل تقريباً كل شيء ذي كتلة. وبخلاف ذلك، يجب أن تكون التفاعلات النووية قد أنتجت نسباً مختلفة جداً من العناصر الضوئية عن تلك التي نلاحظها.

لا نعرف ماذا يمكن أن تكون هذه المادة المعتمة اللاباريونية. وكان المأمول لفترة أنه يمكن أن تتألف من

[37] : وهو اسم لمجموعة من الجسيمات تشمل النويات (البروتونات والنيترونات) والهيبرونات، وهي جسيمات تضمحل إلى baryon -نسبة إلى باريون النويات بإطلاق الميزونات. وكتلة الباريون تساوي كتلة البروتون أو هي أكبر منها-المترجم.

النيوترينووات المراوغة، بمزيتها المعاكسة لأن اكتشافها صعب جداً. وقد ابتُكِرَت أصلاً بوصفها افتراضات حسابية، لموازنة سجلات الاضمحلال البيتاوي، وكان الاعتقاد السائد الآن واثقاً من أن النيوترينووات تتدفق خلال المادة الأكثر كثافة وكأنها حيز فارغ. وكان يُظَن أنها عديمة الكتلة كالبروتونات، ولكن ربما لو كانت لها أدنى كتلة، لاستطاعت كثرتها الهائلة أن توفر الجاذبية الإضافية اللازمة لجعل نظرية الانفجار الكبير تلفظ البنى الضخمة التي نراها.

وفي عام ١٩٩٥، اكتشف العلماء في لوس ألاموس أنه، في الواقع، يمكن أن يكون للنيوترينووات كتلة صغيرة جداً. ولكن حتى لو تم إثبات التجارب، فإن الجسيمات ما تزال تبدو خفيفة جداً إلى درجة لا تستطيع معها تفسير أكثر من جزء بسيط من الجاذبية المفقودة. وهناك حجج أخرى بأنه يمكن استبعاد النيوترينووات لأنها خفيفة جداً وسريعة جداً ("حارة" جداً) إلى درجة لا تستطيع معها أن تسبب تجمد المادة. وبدلاً من ذلك، استنتج الكثير من الكوزمولوجيين أنه يجب أن يكون هناك نوع ما من مادة معتمة غير مكتشفة. وهي، كالنيوترينووات، ستتفاعل فقط مع مادة عادية (أو لن تفعل ذلك أبداً)–مما يفسر عدم اكتشافها–ولكن، على خلاف النيوترينووات، ستكون ضخمة وتتحرك ببطء أكبر بكثير. ولكي تلعب دوراً في النظرية، فإن هذه المادة ستكون منيعة للتدخل من الكثافة العالية للفوتونات التي يُعتقَد بأنها كانت موجودة في طفولة الكون. وهكذا، لن تكون فقط معتمة ولكن شفافة، تمتص الضوء أو لا تبعثه. وفي التاريخ المبكر للكون، استطاعت هذه "المادة المعتمة الباردة" غير المرئية أن تتكتل بسهولة مع بعضها بعضاً، موفرة البذور للبنية المَجَرِّيَّة. ويتضمن المرشحون للغراء الخفي القطبين الوحيدين (القطبين المغنطيسيين الشمالي والجنوبي اللذين انفصل أحدهما عن الآخر)، أو الجسيمات التي تسمى أكسيونات Axions، أو الـ "سبارتكلات sparticles" التي تنبأ بها التناسق الفائق supersymmetry.

إن نظرية الانفجار الكبير مؤثِّرة في قدرتها على تفسير الزحزحات الحمراء للمجرات التي قاسها هابل والإشعاع الكلي الوجود الذي اكتشفه بنزياس وويلسون. فإذا كانت المادة المعتمة الباردة كافية لتفسير كيف ولَّد الانفجار الكبير البنى المَجَرِّيَّة التي نراها في السماء، عندئذٍ يمكن أن يكون البحث عن أسطورة مرضية للخلق قد بلغ معلماً نظرياً مهماً. ولكن ما تزال هناك مشكلة الإشعاعية الخلفية المستوية. وحتى لو زودنا نظرية الانفجار الكبير بجرعة ثقيلة جداً من مادة معتمة باردة، لأنتجت كرة النار البدائية الخاملة كوناً خاملاً. ويجب أن يكون هناك أيضاً نوع ما من شذوذات يمكن قياسها لأشياء كان يجب أن تتشكل كبيرة كالجاذب العظيم والسور العظيم. وفي عام ١٩٩٢، هب إلى الإنقاذ قمر صناعي يدعى كوزمِك باكچراؤند إكسبلورر (Cobe)،[٣٨] حيث اكتشف الاختلافات الأصغر–ثلاثين درجة كلفن–ولكن فقط بعد قدر هائل من التحسن الحاسوبي لفصل ما كان مقبولاً بوصفه إشارة عما أهمل بوصفه ضجيجاً. وحتى الآن، كانت معظم المعطيات ساكنة أنتجتها الأجهزة أو درب التبانة والأجسام الأخرى السماوية. وفي الواقع، لم يستطع المجرِّبون أن يشيروا إلى أي اختلاف استثنائي

[38] وردت قصة Cobe في Wrinkles in Time لـ George Smoot و Keay Davidson، و Through a Universe Darkly لـ Marcia Bartusiak .

في الإشعاعية الخلفية ويقولوا ما إذا كان حقيقياً أو اصطناعياً. ولكن إذا أخذناها مجتمعة، فإن الاختلافات يمكن تفسيرها إحصائياً بوصفها دليلاً على الشذوذات، التي تحرض الكثير من الإثارة حتى أنه تمت الدعوة إلى مؤتمر صحفي لإعلان النتائج.

أثبتت التجارب اللاحقة على نحو أكثر حزماً وجود ما سمي أخيراً التموجات الكونية. ولكن كانت صغيرة جداً إلى حد تعذر معه تفسيرها في حد ذاتها، بأية طريقة تم فيها تكبير التكتل البدائي إلى البنى الضخمة التي نجدها. وما نزال بحاجة إلى كمية ضخمة من المادة المظلمة–أو شيء إضافي. وما نزال لا نعرف ما ذلك الشيء. وباستخدام الحواسيب، حاكى الكوزمولوجيون الأوضاع المبكرة للكون، مسمكرين مختلف المزائج من المادة المعتمة الباردة والحارة، محاولين تكوين البنية التي نراها. ولكن الوصفة الصحيحة ما تزال تروغ منهم.

وتبقى نظرية الانفجار الكبير، إلى حد بعيد، عملاً قيد البحث. ويتيح لنا تلسكوب هابل الفضائي قياس القيفاوسات البعيدة بموثوقية أكبر بكثير من السابق. وتشير الملاحظات الحديثة إلى أن الثابت الذي حُسِب لأول مرة بواسطة سَمِيِّ التلسكوب، والذي يجعل الكون فقط بعمر ٨–١٢ بليون سنة، يجب أن يعاد قياسه من جديد. وهذا سيترك وقتاً أقل لتشكل المجرات. وسيخلق القياس الجديد نوعاً آخر في نسيج المعرفة: وفقاً لقوانين الفيزياء النجمية، هناك نجوم عمرها أكثر من ١٥ بليون سنة.

وما يزال هناك الكثير من الأسرار الكوزمولوجية التي تحتاج إلى توضيح. فعلى الرغم من الاختلافات التي قام كوبيه بقياسها، فإن الإشعاعية الخلفية ما تزال تبدو أكثر استواء من أي حق تملكه. لو لم يصدف أن يكون الوميض البدئي للانفجار الكبير منتظماً جداً، وهي صدفة أو قرار إلهي، يميل بعض العلماء إلى افتراضه، لكان يجب أن تكون هناك طريقة تشع فيها الحرارة من الأجزاء الأكثر سخونة من الكون المبكر إلى الأجزاء الأكثر برودة، لموازنة الأشياء. ولكن واحداً من أكثر المضامين المدهشة للانفجار الكبير هو أن معظم نواحي الكون لم تكن أبداً على تماس. ولم تكن هناك طريقة تستطيع فيها أن تتبادل الحرارة. ومراقب ما في أي مكان في الكون كان سيجد نفسه محاطاً بكرة خيالية ربما بقطر عشرة بلايين سنة ضوئية–المسافة التي اجتازها الضوء منذ الانفجار الكبير. والأجسام التي هي أكثر تباعداً، لنقل عشرين بليون سنة ضوئية، لا يمكن أبداً أنها كانت على تماس. فعندما كان الكون بعمر دقيقة واحدة، كان يجب أن تكون هي متباعدة عن بعضها بمقدار دقيقتين ضوئيتين، أي ضعف الزمن الذي يستغرقه انتقال الضوء. ولهذا لا يمكن أن يكون قد حدث مزيج من إشعاعية خلفية.

في مطلع ثمانينيات القرن الماضي، بدأ ألان غوث، من المعهد التقني في ماساشوستس، بتطوير آلية لتفسير الاستواء: لنفترض أن الكون الذي نعيش فيه هو فقط جزء صغير جداً من الخلق البدئي الذي بدأ بالانفجار الكبير. ووفقاً لرواية الكون التمددي المعروفة في نظرية الانفجار الكبير، فإن قطعة متناهية الصغر من الميغافيرس البدئية، وهي جزء صغير بما يكفي لكي يكون لها درجة حرارة منتظمة، ضُغِطَت في ميكروثوات الثواني المبكرة؛ وبعدئذٍ، تمددت هذه القطعة الصغيرة بسرعة هائلة، مدفوعة بالوجود القصير الأمد لنوع من مضاد الجاذبية، الذي نشأ من الظواهر الكمومية، متوسعة بصورة فورية، ربما بمقدار ١٠^٥٠ ضعفاً، إلى بذرة الكون الذي نعيش فيه اليوم. سيناريو غوث يوفر أيضاً تعليلاً لسبب كون الكون مسطحاً. إن أي انحناء كان

موجوداً، سواء كان إيجابياً أو سلبياً، يجب أن يكون قد تسطح، وتضخمت التموجات الكمومية البالغة الصغر إلى الشذوذات التي أصبحت فيما بعد بذوراً للمجرات. ويمكن أيضاً أن تكون قطع أخرى من الانفجار الكبير قد تمددت إلى أكوان أخرى، ربما بقوانينها الفريدة الخاصة، ولكنها وراء آفاقنا ولا يمكن أبداً اكتشافها.

يعقد الكثير من الكوزمولوجيين الأمل على اكتشاف طريقة لتفسير تشكل المجرات دون أن يترتب عليهم إعلان أن معظم الكون غير منظور. وإذا أُجبِر العلم أخيراً على استنتاج أن ٩٩% من المادة تتألف، في الواقع، من جسيمات لا تبعث أو لا تمتص ضوءاً، عندئذٍ سيجابهنا انعكاس مروع في الشكل والأرض. فمعظم ما نعرفه عن الكون يأتينا بواسطة الفوتونات التي تترشح من خلال غلافنا الجوي أو ترتطم بمستقبلات مسابرنا الفضائية العرضية. نحن مخلوقات الضوء. فنحن نعتمد على ضوء الشمس لتزويد التفاعلات الكيميائية الحيوية للأرض بالطاقة وعلى الكهرطيسية لاكتشاف الكون، وبالتالي، لمعرفة وجودنا. كم هو غريب، عند رسم خريطة لكون حقيقته الظاهرية الوحيدة هي سرعة الضوء، أن تواجهنا إمكانية أننا، بهذه الطريقة، نستطيع أن نعرف فقط جزءاً غير مهم.

إن ما نحسبه خلقاً–النجوم والمجرات التي نراها ونتخيلها حولنا–يمكن أن يكون فقط زبداً على موجة تشكلت من مادة معتمة غامضة، جوهراً يمكن أن يكون، في أفضل الأحوال، قد اكتشف بشكل ملتوٍ. فنحن والكون الذي نعرفه يمكن أن نكون ليس أكثر من جزءٍ ضئيل من ضجيج سكوني في الإشارة الكونية، مركزيٌّ للمشروع الكوني كحمامات بنزياس وويلسون التي طُرِدت من هوائيِّها الميكرويفي.

ينكر البعض عظمة الانفجار الكبير، أي قدرته على تفسير الكثير جداً مما نراه. ربما يكون حكم هذا حكم أننا نتمع بالحق في أن نتوقع نظرية للكون. ولكن لا يمكن أن تفوتنا حقيقة أن التفسير الوحيد الذي يبدو أن قصة الخلق يجب أن تتضمنه–كيف وُجِد كون نجومنا ومجراتنا وعناقيدنا المَجَرِّيَّة–ما يزال يروغ منا. وما تجهد نظرية الانفجار الكبير لتعليله هو الرصيف عينه الذي وضعنا من فوقه ملاحظاتنا وأنشأنا عليه أبراج تجريدنا–الرصيف عينه الذي نقف عليه نحن بناة نظرية الانفجار الكبير. وهكذا نعمل على إدخال التعديلات على تخيلنا للألعاب النارية السماوية. فأعدنا الترتيب وزخرفنا حتى ابتكرنا رواية لنظرية الانفجار الكبير يمكن أن تعلل التسطح، والاستواء، والأكثر أهمية، أصل التكوين–ولكن فقط إذا كان ٩٩% من الكون غير مرئي بصورة أساسية. فهل ينبغي أن نهنئ أنفسنا لكوننا أذكياء بما يكفي لتمييز الباقي فقط من نسبة ١%؟ أم يجب أن نخاف لأننا وُضِعنا في مأزق نظري حيث الطريق الوحيدة للخروج منه تكون بالإفراط في وضع الافتراضات؟ فنحن تطورنا على الأرض بموهبة مدهشة لاكتشاف الأنماط. ولكن أدمغتنا لم تكن قد اختيرت بسبب مقدرتها على فهم الكوزمولوجيا أو فيزياء الجسيمات. وهناك خطر دائم من كوننا أذكياء جداً، وماهرين جداً في تشريب التناقضات لاختراعاتنا النظرية. ونحن، كبطليموس، لا نستطيع أن نعرف دائماً متى نضيف أفلاك التدوير، أي التفاصيل، لكي تصمد نظرياتنا.

ومع ذلك، نحتفظ بقناعتنا–على الأقل كفرضية عملية–بأننا نستطيع أن نفهم الكل. فالصورة التي رسمناها للسماء زاهية جداً، بكويزراتها المتألقة إلى حد مذهل، وثقوبها السوداء العميقة إلى حد لا نهائي، إلى درجة لو أن

غريباً قرأ أدبنا، لظن بأننا قطعنا مسافات كبيرة. ولكن، في الواقع قمنا بإرسال مسابر فضائية ليس إلى أبعد مما هو وراء النطاق الشمسي مباشرة، وتوقفنا ليس أبعد من القمر. أما بقية الصورة، فقد تم بناؤها من الفوتونات التي صدف أن وجدناها في طريقنا–تم تكبيرها بالتلسكوبات، ونخلها من أجل الأنماط.

ومع هذا الجهد كله، أصبح النمط الكوزمولوجي الذي بنيناه مستقراً بقوة كبيرة في الدماغ إلى حد أنه يمكن أن نسمع أن بني البشر وحدهم يفكرون بثقة حول الأصل الحقيقي للكون. فما الذي سبَّب الانفجار الكبير؟ هنا تم يوماً التخلي عن العلم وبدأ الدين. ومن يمكن أن يرضى بعلم لا يستطيع أن يقول أكثر مما جاء في سفر التكوين، "ليكن نور"؟ وهكذا نظر الكوزمولوجيون، في السنوات الحديثة، إلى زملائهم في فيزياء الجسيمات، متسائلين عما إذا كان يمكن توسيع نظرية الكم، الوسيلة التي أثبتت قدرتها الكبيرة على تفسير الذرات داخل الكون، لتحقيق فهم الجسيم الأكثر أهمية من كل الجسيمات: شيء صغير جداً [بحجم رأس دبوس] كثيف إلى ما لا نهاية يقال إن انفجاره الغامض أحدث كل ما نراه ونتخيله. فكيف يفهم المرء شيئاً ما–في هذه الحالة، كل شيء–من لا شيء.

يبدو أن الطبيعة ليس فقط تكره الفراغ، ولكن لا تسمح بوجوده. ليس صحيحاً أن المكان مملوء بغبار كوني. فوفقاً لنظرية الكم، فإن الفراغ الذي اعتقدنا يوماً أنه خالٍ، يغلي، في الواقع، بالطاقة، التي تخلق باستمرار أزواجاً من "جسيمات تقديرية"–مادة ومادة مضادة–تقفز وتتوهج أذنابها للحظة قبل أن تبيد إحداها الأخرى وتعود إلى الفراغ. ويضمن مبدأ اللا يقينية لهيزنبرغ أن هذه الطاقة لا يمكن استثمارها: العمر الزمني للجسيم وطاقته، كموضعه وكمية تحركه، يرتبطان تبادلياً. وهكذا، فإن أية جسيمات يخلقها الفراغ ستكون إما منخفضة الطاقة جداً أو قصيرة العمر جداً لدرجة تفلت معها من قبضتنا.

إذا طبقنا النسبية ونظرية الكم على الكتلة البدائية، فإننا نحصل على كوة أنشوطية كبيرة بما يكفي لكي يقفز كل الخلق من خلالها. لنفترض أن كمية ضئيلة جداً من الطاقة–جسيماً تقديرياً–نشأ عشوائياً من الفراغ. فوفقاً لنظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، فإن هذه الطاقة ستترافق بكتلة ($E = mc^2$)، ووفقاً للنظرية النسبية العامة لأينشتاين، فإن الكتلة ستحني الزمكان، محدثة جاذبية. وهكذا، فإن كل الكتلة والطاقة التي تكونت تلقائياً من الفراغ يمكن، على نحو يمكن تصوره، أن يوازنهما الشد الثقالي الناتج–القيمة الصافية ستكون صفراً، وهكذا لن تُنتهَك قوانين الحفظ. فمبدأ هيزنبرج يقول لنا إن كمية متناهية الصغر من الطاقة يمكن أن تعيش لمقدار لا متناهٍ من الزمن.

عندئذٍ سيكون الكون تراوح كمومي، ومثله مثل كل الأشياء في نظرية الكم، يمكن وصفه بأنه جسيم أو موجه. وكما يتحدث العلماء عن الدَّالَّة الموجية للإلكترون، فإنهم يتحدثون عن الدالة الموجية للكون، مفترضين أن مجموعة من الأدوات الرياضية التي ابتكرت يمكن تطبيقها على كامل الخلق.

ولكن عندئذٍ نُترَك للتساؤل: كيف يمكن أن يكون هناك تراوح كمومي قبل أن يكون هناك مكان وزمان يمكن أن يتراوح فيهما أي شيء؟ وأين كانت القوانين والرياضيات التي يمتثل لها هذا التراوح قبل أن يكون هناك كون يحتويهما؟ أما وقد دفعنا إلى الحافة، فإننا اصطدمنا بحدود أفكارنا الأرضية. ولكن من كان يظن بأنها ستحملنا بعيداً هكذا؟

عندما ننظر، متمتعين بميزة الإدراك المؤخر، إلى فنون العمارة الرائعة للكوزمولوجيا وفيزياء الجزيئات، فإن التطورات تتخذ معنى خادعاً للحتمية، كأن الصورة التي ظهرت، بكل قوتها وضعفها، هي الصورة الوحيدة التي كان يمكن أن تكون. وعندما نقرأ في كتب التاريخ كيف اعتقد هارلو شَبْلي الكبير بأن درب التبانة **هو** الكون، فإننا نريد أن نأخذ على يده ونقول، "لا، ألا ترى؟ تلك السُّدُم التي تبدو صغيرة وقريبة جداً هي، في الواقع، مجرات بعيدة ضخمة. فإذا قست قيفاوَساتك بصورة صحيحة ووضعت في اعتبارك كل ذلك الغبار الكوني، فإنك سوف ترى أن مجرتنا، في الواقع، أصغر بكثير مما تظن." نحن نكافح عبثاً لكي نتخيل ماذا لو أراد أحدنا أن يكون في مكانه–أو في مكان ثومسون أو راذرفورد–وهو يراقب الظاهرة دون أجهزة ترشيح تعمل فيما بعد على توجيه كل شيء نراه إلى قناة.

ولكن أي معنى زائف يقدمه لنا هذا للبحث العلمي، للجهد الذي لا ينتهي أبداً لرسم خريطة لعوالمنا الداخلية والخارجية! فإذا نظرنا إلى الماضي، ونحن نعرف ما نعرف، فإنه من الصعب زعزعة الإيمان بأن الفلكيين والفيزياء الجزيئية يكشفان نظاماً موجوداً من قبل، ويميلان إلى اللقاء على الطريق التي يمضي فيها الكون في الواقع. ولو تهيأ لنا أن نسافر إلى الخلف في الزمان ورأينا المشروع من خلال عيونهما، لحصلنا على معنى أقوى للعلم بوصفه بناء إنسانياً رائعاً، تركيبة بارعة للمعطيات في إطار عقلي مصنوع بدقة، بناء أبراج كان يمكن أن تبنى بطريقة أخرى. وهكذا يجب أن نتحول من ماضي العلم إلى مستقبل العلم، إلى مغامرات جديدة جداً لكي لا تكون هناك وسيلة لمعرفة كيف ستنتشر القصة.

وتماماً كما حرضت نجوم نيو مكسيكو وجيولوجيتها الصارمة العقل على التساؤل حول الصور التي رسمناها للعالم، فإن مختبراتها أغرتنا بالنظر من خلال عيون العلماء المعاصرين، الذين يحفل عملهم، إلى حد بعيد، بجيشان كامن يضعهم إزاء حافة مربى الأحياء المائية، وينظِّرون إلى مكان مفاهيمي فارغ. ويتفق أن تكون نيو مكسيكو الشمالية ملاذاً لبعض هؤلاء المستكشفين. وعندما يواجه هؤلاء العلماء، بشكل لا مفر منه، كوناً أكثر تعقيداً مما تحاول الأدمغة احتباله بشباكها، فإنهم، كأسلافهم، يكافحون لفرز النظام من العشوائية. وفي العملية، يمضي بعضهم أيضاً إلى حد أبعد، ويتفحصون بدقة أكبر ماذا نعني تماماً بالعشوائية والنظام، ولماذا يمكن أن يكون لدينا علم بأية حال.

استراحة تيسوك

لغز الجمل

إن عالَم سنتافي الكوزموبوليتاني منفصل عن أرض التيوا بسنام غريني من الرمل المنجرف من سانچر دو كريستوس خلال المليون سنة الأخيرة أو نحو ذلك، ويزور الجيولوجيون فيه عصر البليستوسين. بعد ذروة السنام مباشرة، حيث تتطلع أوبرا سنتافي نحو جبال جيميز، يمكن للمرء أن يكتشف المعالم العشوائية المشوهة لأراضي بلدة اسبنيولا الرديئة: رماد بركاني، وحجر رملي، ورواسب أخرى حتتها الرياح إلى مشهد نزوي كشيء ما يبرز من كتاب الدكتور سيوس. وإلى نقطة أبعد في الشمال على الطريق العام ٢٨٥، مباشرة بعد الطريق الجانبية إلى قرية تيسوك، هناك معلم على جانب الطريق يمكن وصفه بكرم بأنه محاكاة نيومكسيكو الشمالية لأبو الهول، وهو تشكل صخري منحوت بصورة طبيعية يبدو كجمل كبير جامد ينوخ بجانب الطريق.

إن نظرة الجمل المحدقة الجامدة موجهة على امتداد الطريق العام، حيث تتوقف، في وقت متأخر من بعد ظهر كل يوم، السيارات والشاحنات الصغيرة والكبيرة القادمة من كلا الاتجاهين في موقف كبير للسيارات أمام مبنى فولاذي ضخم مسبق الصنع على قطعة مخصصة من أرض تيسوك. وفي واحدة من الحالات الأكثر حميمية التي يمكن أن تقدمها نيومكسيكو المتعددة الثقافات لطقس بيطائفي، يتدفق سائقو العربات عبر الأبواب ويصطفون أمام نضد أمين الصندوق ليبتاعوا عشوائياً رزم بطاقات مرتبة بالأرقام. فهناك هنود التيوا الذين يمكن أن يقدموا في يوم آخر رقصة القمح أو رقصة الأيل في تيسوك، أو سان آيْدِفونسو، أو نمبه، أو سنتا كلارا، أو سان خوان، التي تتشاطر أملاً عمره قرون بأنه فقط بالرقص على الإيقاع الصحيح وفقط في الإطار الصحيح للعقل يمكن أن يتفادوا شكوك الحياة. وهناك الأسبانيون، من بلدة اسبنيولا على ريو چراند أو القرى الصغيرة التي تربض في كواها في سانچر دو كريستوس، الذين يمكن لبعضهم، في وقت آخر من اليوم، أن يتلو الصلوات أو ربما يستمع إلى الكاهن بات روبرتسون على التلفزيون الكبلي. وهناك حفنة من الانكليز، الكثير منهم متقاعدون يلتمسون التسلية والفرصة لتكملة شيكات رواتبهم التقاعدية.

يبدو أن الكثير من الزائرين هم أقل من موسرين، مع أنه يمكن أن يكون لديهم مبرر للاعتقاد بأنهم، أكثر من آخرين، اختيروا كضحايا لعدم القدرة على التنبؤ بالحياة. ولكن جاؤوا الليلة لكي يحتفلوا بالعشوائية، لا ليحاربوها. جاؤوا اليوم إلى هنا على أمل أن يدور دولاب فورتِنا [إلهة الحظ القديمة] هذه المرة في اتجاههم. إنه ليس دولاباً في الواقع، بل هو دينامو آلي كبير للعشوائية يجثم على منصة في وسط الغرفة. ومع أنه صندوق معدني صغير يشبه صندوق الحاسوب الإلكتروني القديم، فإن هذه الآلة يحكمها الحظ، لا الحتمية. في حجرة شفافة، خمسة وسبعون كرة مرقمة تقفز صعوداً وهبوطاً كالفُشار، مصطدمة بعضها ببعض حتى تزدحم مساراتها تماماً إلى حد أن العامل عندما يكبس زراً لفتح باب إلى الخارج، فإنه لا يمكن لأحد أن يعرف أي رقم سيخرج مندفعاً:

. N-66, I-23, G-57, O-75, I-22, B-15

وعندما تُستدعى المجموعات المختلفة، فإن اللاعبين، الذين يبلغون المئات الآن، يفصلون بخبرة بطاقاتهم، التي تتألف كل منها من شبكات أرقام خمسة خمسة. فإذا نطق الحيوان مباشرة الأرقام الصحيحة لملء صف أو

تكوين المجموعات المطلوبة:

Four corners, Small Picture Frame, Crazy kite, Six Pack, Crazy T

فإن الرابحين يهتفون بالكلمة التي تظهر في الخارج بحروف حمراء ضخمة مغايرة للون السماء: BINGO.[٣٩] ويجمعون الجائزة، ربما مئتي دولار–أو إذا كانوا محظوظين إلى حد استثنائي، شاحنة صغيرة جديدة من نوع جي إم سي. وعند نهاية المساء، ينضم الرابحون إلى الخاسرين عندما يخرجون بخطى واسعة إلى الليل، تحت عيني الجمل والأضواء المنتثرة من السماء المرصعة بالنجوم. وتبيت قرية تيسوك صاحبة الامتياز، وهي الرابح الأكبر بين الجميع، أكثر غنى مما كانت في الليلة السابقة.

وهكذا يكون لغز الجمل كما يلي: ما القوى التي تتآمر لجعل بعض الناس يربحون في حين تعيد البقية إلى المسارات المبتذلة لحياتهم السابقة؟ يعتبر الكثيرون فورشِنا مسؤولة: هناك أسباب تكمن خلف نزواتها، ولكنها نزوات لا نستطيع سبر غورها. وربما نستطيع الإلحاح عليها بالقرابين والصلوات. وأولئك الذين لا يستطيعون إقناع أنفسهم بوجود رابطة بين المؤمن والمحظيّ يمكن ببساطة أن ينسبوا نتيجة اللعبة إلى نوع من قوة خفية عمياء تسمى الحظ. ولكن، ماذا نقصد بذلك؟ أين نجد، في كون يخضع لقانون، متسعاً لأشياء تحدث دون سبب؟ أم أننا سنجد أسباباً إذا أنعمنا النظر بما يكفي؟

خلال سباقات البنجو في تيسوك، هناك لعبة واحدة يُدعى فيها اللاعبون لاختيار قَدَرِهم الخاص. فقبل بدء الدورة، يعطى المرء بطاقة فارغة تحمل خمسة أعمدة، موسومة بالأحرف B، وI، وN، وG، وO، ويُطلَب منه أن يملأ الفراغ بما يظن، بوجه ما، أنها أرقام حظه. فإذا كانت هناك طريقة للتنبؤ بالكرات التي يحتمل أكثر أن تندفع من مكنة البنجو، فإنه يمكن أن يتمتع بأفضلية على العشوائية. ولنفترض أنه كانت هناك وسيلة لأخذ لقطة فوتوغرافية ثلاثية الأبعاد لحجيرة الكرات الواثبة وتحولها إلى سلسلة من الأرقام التي تعطي موقع وسرعة كل كرة. ولكي نكون على أقصى ما يمكن من الدقة، يمكن أيضاً أن نحلل ظاهرة كوريوليس لتدويم الأرض، أي الجذب الثقالي للنجوم. وإذا لقمنا الحاسوب بهذه المعطيات، بعد برمجته بكتلة الكرات ومرونتها، فإنه يمكن أن نستخدم قوانين نيوتن لحساب كيف سيكون الترتيب داخل الحجيرة بعد ثانية واحدة. ومن نقطة الانطلاق تلك، يمكن عندئذٍ أن نحسب ما سيحدث خلال الثانية التالية والتالية–حتى اللحظة عينها عندما يكبس العامل الزر ويطلب الكرة التالية. وسوف لا نفاجأ بالكرة التي ستندفع إلى الخارج. وبجمع ومعالجة ما يكفي من المعلومات، فإننا سنهزم تموج الحظ.

إذاً، هل يمكن أن تكون العشوائية مجرد اسم آخر للجهل؟ إن ترتيب الكرات ينكشف وفقاً لقوانين الفيزياء؛ والصحيح فقط هو أنه ربما لا نستطيع معالجة كل المعطيات الضرورية لتقدير تخمين جيد. وحتى إذا استطعنا أن نتخيل جمع كل المعلومات، فإن عملية الحساب يمكن أن تستغرق وقتاً طويلاً جداً. فإذا استغرق حساب ترتيب كرات البنجو بعد دقيقة واحدة ثلاثة أيام، أو ساعات، أو حتى ثلاث ثواني، عندئذٍ لا نستطيع الادعاء بأننا

---

[39] البنغو: لعبة من ألعاب الحظ والمقامرة-المترجم.-

تتنبأنا بالمستقبل. ولكن، لنفترض أن هناك مخلوقات تحمل أدمغة تبز أدمغتنا. ولنفترض أننا زودنا الجمل، الذي يجثم أليفاً على جانب الطريق، بدماغ أكثر قدرة بكثير من أفضل حاسوب فائق في العالم، فهل يستطيع أن يحدق في العلبة الصغيرة للكرات الواثبة ويرى نظاماً حيث نرى نحن عشوائية؟ وهل الحظ موجود في عين الناظر؟

في حين تبدو فيزياء البنجو عنيدة، على الأقل للبشر، فإن الروليت مسألة أخرى. فبدلاً من أخذ لقطة فوتوغرافية لخمس وسبعين كرة متفاعلة، يلزمنا هنا أن نهتم بشيئين: الكرة التي تدور في المسار الدائري لدولاب الروليت ودوَّار التدويم. وقد قضى دُويْني فارمر ونورمان بيكارد،[40] الفيزيائيان اللذان كانا جزءاً من الكلية غير المرئية التي نمت حول معهد سنتافي، السنوات الأولى من سيرتهما المهنية في محاولة لاستخدام قوانين نيوتن في الحركة لتحليل اللعبة وإعطاء المراهن إمكانية قمارية ضد النادي. وعلى غرار الكثير من زملائهما، انتهيا إلى الاعتقاد بأن فهم التفاعل الماكر بين المصادفة والحتمية سيساعد على إلقاء الضوء ليس فقط على المقامرة ولكن على الطبيعة الحقيقية للمشروع العلمي. أما وقد ترعرعا معاً في سيلفر سيتي، في نيومكسيكو، فإن فارمر وبيكارد كانا عضوين في معسكر الكشافة الذي تخصص بالعلم. ويبدو أن الطفولة التي قضياها في نزع أحشاء أجهزة الراديو والمحركات قد شرَّبتهما الإيمان بأن كل الأجهزة، مهما كانت معقدة، يمكن اختراقها بعقل استقصائي.

حاول العلماء على مدى قرون اكتشاف النظام الماكر الذي يختبئ في لُعَب الحظ. ويقال إن عالمي الرياضيات الفرنسيين، بليز باسكال وبيير دو فيرما، ابتكرا علم الاحتمال، في منتصف القرن السابع عشر، لتوضيح غرض شذوذات حساب المقامرة. وحاول بعض علماء الرياضيات الأكثر شهرة، بمن فيهم الإخوة برنولي، وبيير سيمون لابلاس، وهنري بوانكريه، ابتكار أجهزة للتغلب على الروليت. وأرادوا تحليل سلسلة من الأرقام التي يولِّدها الدولاب والبحث عن انتظامات إحصائية، تنطلق من العشوائية. وما كانوا يحتاجون إليه حواسيب جيدة، وعدسات تصحيحية للدماغ.

تبدأ دورة الروليت عندما يقوم مدير اللعبة بتدوير الدَّوَّار في اتجاه واحد، ثم يلقي الكرة لكي تدور حول المسار في الاتجاه المعاكس. والكرة، التي تنسحب بالاحتكاك ومقاومة الهواء، تتباطأ حركتها أكثر فأكثر حتى تحملها القوة النابذة إلى مسار منخفض جداً إلى درجة تتغلب فيها الجاذبية عليها وتسقط على الدولاب الدائر. وعن طريق قياس السرعات النسبية للكرة والدَّوَّار وحساب معدلات تباطئهما، يمكن للمرء أن يحاول تخمين نتيجة اللعبة. في مطلع ستينيات القرن الماضي، قام كلود شانون، مبتكر نظرية المعطيات، وإدوارد ثروب، وهو عالم رياضيات مولع بالمقامرة، بتركيب حاسوب نظيري صغير لإجراء الحسابات. وبعد ضغطه إلى حجم علبة سجائر، ترسل إشارات إلى مساعد سمعي، جربا حظهما في لاس فيجاس. فكانت تقنيتهم البسيطة قوية بما يكفي لإعطائهم أفضلية ضئيلة على نادي القمار، ولكن هزمتهما في النهاية مجموعة الدارات الكهربائية غير الموثوقة والقدرة غير الكافية للحاسوب.

---

[40] في The Eudaemonic Pie لـ Thomas Bass، الذي نشر في بريطانيا بوصفه The Newtonian Casino، نجد وصفاً لمحاولات فارمر وبيكارد للانتصار في لعبة الروليت. ويصف الكتاب أيضاً محاولات الأسلاف البارزين في مشروع سانتا كروز، من الإخوة برنولي إلى كلاود شانون؛ انظر الصفحات ١١٩ و ١٢٦-١٣١.

وفي منتصف سبعينيات القرن الماضي، عندما كان فارمر وبيكارد طالبي دراسات عليا في الفيزياء في جامعة حرم سنتا كروز في كاليفورنيا، قدمت أعاجيب التكنولوجيا الرقمية الوعد بتباشير النجاح حيث فشل شانون وثروب. وباستخدام أكثر بقليل من قوانين نيوتن، اكتشفا أنه كان يمكن غالباً التنبؤ في أي ثُمْنٍ[41] من الدولاب ستهبط الكرة. كانا يتشاطران بيتاً قرب الشاطئ مع بعض العلماء الآخرين الطموحين ولصوص الحواسيب، ويحلمان باستخدام العقل لهزيمة المصادفة، وجر بعض أغنياء لاس فيجاس إلى مغامراتهما الخيالية.

وكانت الخطوة التالية هي احتجاز هذه القوانين في خوارزمية وبرمجتها في آلة صغيرة جداً. يكبس آخذ المعطيات مفتاحاً عندما تصل كرة الروليت إلى نقطة ثابتة على محيط الدولاب، ويكبسه من جديد عندما تصل مرة ثانية. ويتم تلقيم المعطيات إلى الحاسوب، الذي سيحسب سرعة الكرة ومعدل تباطئها. ويقاس زمن الدوار بطريقة مماثلة، بكبس مفتاح كل مرة يمر فيها الصفر المزدوج الأخضر.

في عالم مثالي، هذه هي كل المعلومات اللازمة للتنبؤ أين ستحط الكرة. والحاسوب، داخل مجموعة دارته الكهربائية، سيمثل نسخة مبسطة عالية السرعة للُّعبة، كاشفاً النتيجة للاعب في الوقت المناسب لكي يضع فيشاته على السلسلة اليمنى من الأرقام. ولكن دواليب الروليت في الحياة الواقعية لا تجاري أولئك الذين عملوا على مثلنة المعادلات. فقبل الدخول في أية مراهنات، كان يتوجب على آخذ المعطيات أن يعمل على موالفة الآلة بدقة، بما يعايرها من أجل الاختلافات التي تسببها الأنواع المختلفة لكرات الروليت أو ميل الدولاب. حتى الضغط الجوي يمكن أن يمارس تأثيراً. لم تكن عوامل العالم الحقيقي هذه كلها مُعاوَقَة. وبسرعة، اكتشف المجربون، كأسلافهم اللامعين، أن التنبؤ للدولاب المائل أسهل من التنبؤ للدولاب الشاقولي: تميل الكرة إلى السقوط من الجهة العليا للمسار.

بعد عدة سنوات، نجح فارمر وبيكارد، وأصدقاؤهما–بمن فيهم جيم كراتشفيلد، وهو مبرمج خبير على أبواب سيرة في الفيزياء والأجهزة المعقدة– في تركيب كل البرمجيات والدارات الكهربائية الضرورية في جهاز بما يكفي لإخفائه في حذاء، أو، في الواقع، ثلاثة أحذية متصلة بموجات كهرطيسية. فكانت هزيمة الروليت من مجهود شخصين. تم توزيع معدات آخذ المعطيات بين وحدتين، واحدة لكل قدم. وبكبس مفتاح دقيق بأبخسه الكبير الأيمن، كان أحدهما يقيس زمن الكرة والدولاب؛ وبأبخسيه الكبيرين، الأيمن والأيسر، كان يعاير البارامترات المختلفة. وكان ينبغي أن يفعل هذا وهو جالس إلى طاولة الروليت، متظاهراً بأنه مجرد مقامر آخر غر يحدق بالدولاب، ولكي يتفادى الشبهة، كان يشارك، بين حين وآخر، في الرهان. وعندما يرضى عن التوافق بين الحاسوب والدولاب، كان يضع رهاناً على عدد زوجي؛ وهي إشارة إلى شريكه، المراهن، بأنه حان الوقت لكي يبدأ اللعب. وفي كل مرة كان المسؤول يدير الدولاب ويرمي الكرة، كان آخذ المعطيات يقيس زمن الإحداثيات بأبخسه ويحسب الحاسوب ثُمْن الدولاب الذي يحتمل أن تحط فيه الكرة. وكان يتم استقبال المعلومات في حذاء المراهن، الذي كان مزوداً بثلاثة ملفات لولبية تهتز بثلاثة ترددات مختلفة. وكانت هذه النماذج هي التي تعلِّم اللاعب كيف يجب أن يراهن. يمكن أن يكون *عالي، متوسط، منخفض*، إشارة لوضع الرهان على الثُّمْن ٢، *وعالي، منخفض، منخفض إشارة لوضعه* على الثُّمْن ٧.

---

[41] ثُمْن الدائرة: زاوية قياسها ٤٥ درجة-المترجم.

أثناء إقامتهم لبضعة أيام في كل مرة في موتيلات متقوضة، في لاس فيجاس، ربح لاعبو سنتا كروز ما يكفي من المال لإثبات أن يمكن استبعاد بعض العشوائية من الروليت. ومع أنهم كانوا يؤمنون بأن جهازهم كان أفضل جهاز تم تطويره حتى ذلك الوقت، إلا أنهم اكتشفوا، كما اكتشف شانون، أن الخروج من المختبر إلى الكازينو لم يكن مسألة بسيطة. فالأسلاك السائبة وعلل البرمجيات كانت تسبب تحطم الحواسيب البالغة الصغر. والإشارت من حذاء إلى حذاء كانت تختلط بالتألق الكهرطيسي لمصابيح لاس فيجاس. وعلاوة على ذلك، كان هناك تموجات الدولاب نفسه. وعلى المدى البعيد، يمكن التعويل على أن تعمل التموجات العشوائية في سلوك الكرة والدوار على تعديل نفسها. ولكن، ما أمد ذلك المدى البعيد؟ إذا نقفنا قطعة نقدية مثالية مئة مرة، فإننا سنحصل على نصف الوجوه، ولكن، مع استمرار العملية، يمكن أن يكون هناك مدى لأفقية يبدو أنها لا تنتهي أبداً. وفي الروليت، يمكن لانحرافات عرضية كهذه أن تلتهم نقودك، وتتركك دون رأسمال لمواصلة اللعب، دون وسيلة حتى لاستعادة خسائرك.

وهناك أيضاً مشكلات لا علاقة لها بالفيزياء والرياضيات. فخبراء الإحصاء في الكازينو يحسبون الشذوذات بدقة كبيرة. وكل لعبة مصممة لإعطاء الكازينو حداً من عدة درجات مئوية–لا تكفي لتثبيط اللاعبين ولكن تكفي لضمان تدفق الثروة باتجاه واحد. ويشهد على هذه الحقيقة غنى بلاط القياصرة وكل كازينو على ذلك الشريط من الأرض. واللاعب الذي يتصرف بطريقة شكوكية أو يتمتع بسلسلة طويلة غير عادية للربح، يجذب اهتمام ذوي النفوذ الموجودين ويمكن أن نتوقع له أن يُعامَل بطريقة أقل من ودية. ويطلق كراتشفيلد على هذا تسمية "ظاهرة الرجال المتنفجين الأفظاظ." وأخيراً، أصبح الإلزام رسمياً: تم منع حواسيب الروليت في كازينوهات لاس فيجاس.

ما يزال المتمرسون في مشروع الروليت يفكرون حول أي واحد يمكن أن يكون على علاقة بالتكنولوجيا–حواسيبهم الصغيرة جداً تستخدم فقط ذاكرة ٤ أو ٥ كيلوبايت مقارنة بذواكر الميغابايتات المتاحة اليوم. ولكن، قبل أن يكونوا على صلة بالجامعة، وجدوا أنفسهم مشغولين بأنواع أخرى من العشوائية. وفي محاولة للتغلب على الروليت، ركزوا على ما يمكن تسميته عشوائية الجهل، أي الأمل بتحقيق أفضلية على الصدفة عن طريق جمع المعلومات. ولكن الكون أيضاً يبدو مشرَّباً بعشوائية متأصلة، لا يمكن التخلص منها بأي قدر من المعرفة.

يمكن أن نتخيل مخلوقنا الذكي الكلي القدرة، أي الجمل، الذي يتابع مسار كل الكرات التي تقفز هنا وهناك في مكنة البنجو والذي يحسب أيها ستطفر من خلال القناة المائلة. فلو كانت الكرات تُقذَف آلياً، لنقل كل أربعين ثانية، لأمكن تحليل هذه الفترة الفاصلة إلى حسابات. ولكن المكنة ليست آلية. فالإنسان هو الذي يقرر متى يكبس الزر. فهل يستطيع الجمل أن يتنبأ على نحو يمكن تصوره متى سيُتَّخَذ كل قرار؟ من الواضح أن مدير التشريفات الذي يلتقط الكرات وينادي معلناً الأرقام يعمل ضمن قيود معينة: يتعرض للضغط لكي لا يختار الأرقام بسرعة كبيرة بحيث لا يستطيع اللاعبون معها تأشير بطاقاتهم، ولا يمكن أن يتحرك ببطء كبير. فهو يعمل لمصلحة النادي، والنادي يريد أن يحتفظ بالأرباح عند حد أدنى محترم–يكفي لتشجيع الناس على العودة ولكن لا تكفي لتأكُّل الأرباح. والنادي أيضاً تصدمه الصدفة، مع أن اللعبة ما كانت لتوجد لولا تراكم الشذوذات لمصلحته. والطريقة الوحيدة للحيلولة دون التزايد الكبير في ألعاب البنجو تكون بالإسراع كثيراً في إعلان الأرقام

بحيث ترتبك مهارات معالجة المعلومات عند الناس. وهذا أيضاً هو سبب تغيير الأسلوب الذي يُعتبَر لعبة بنچو من لعبة إلى أخرى–يضيف تنوعاً لتخفيف الضجر، ولكن أيضاً يربك الناس. وتختبئ ضمن البطاقات أرقام البنچو التي لا تُعلَن أبداً.

ربما يستطيع المرء أن يتوصل إلى إيقاع يضمن، في المتوسط، مردوداً معيناً للنادي. ولكن مهما كان مدير التشريفات دقيقاً في مراقبة الساعة، فإنه لا يستطيع أن يُصدِر تياراً منتظماً من الأرقام. وكما اكتشف فارمر وبيكارد فيما يتصل بالروليت، فإن المنعكسات البشرية المشحوذة على نحو أفضل يمكن فقط أن تكون دقيقة جداً. فالجملة العصبية البشرية مبتلاة بالضجيج. ومهما كان مدير التشريفات مجتهداً في محاولته لدفع الزر في اللحظة الصحيحة، فإن ارتعاشاً عشوائياً للعصبون يمكن أن يضلل توقيته.

ولكن ألا يمكن شطب هذه العشوائية؟ لنفترض أن الجمل راقب الجملة العصبية لرئيس التشريفات واستخدم قوانين الفيزياء للتنبؤ بتدفق التيارات الأيونية والناقلات العصبية التي تحكم سلوك كل عصبون. ومع أن الجمل كان يقتفي أثر الكرات الواثبة في الحجيرة، فإنه يستطيع أيضاً أن يقتفي أثر الإلكترونات الواثبة في الدماغ. وذلك هو المكان الذي تدخل فيه قوانين ميكانيكا الكم، التي تعلن أن سلوك جسيم دون ذري منفرد لا يمكن أساساً الفصل به. وإذا سلمنا بوجود عدد كبير من الإلكترونات، عندئذٍ يمكن التنبؤ بسلوكها العادي. ولكن انتفاض إلكترون منفرد يكون عشوائياً أساساً. والمشكلة لا تتمثل بعدم براعة المجربين. فمهما كانت الأجهزة التي نقيس بها دقيقة ومرهفة، فإن رياضيات نظرية الكم تفرض أن يكون هناك دائماً كمية ثمالية من العشوائية التي لا يمكن لأي قياس أن يتخلص منها. فإذا كانت قراءة عقل عامل البنچو تتطلب مراقبة إلكتروناته بدقة، فإن ميكانيكا الكم ستهزم متطلبات المستبصر الأكثر قسوة.

حتى هنا، في العالم الميكروسكوبي للبنچو والروليت، يمكن عادة أن نتجاهل اللا يقينية الكمومية. ومع الأشياء الكبيرة، تبلغ التموجات المعدل لمقاربة الواقع بوصفه لعبة علة ومعلول. ولكن، في الوقت الذي كان يتجول فارمر وبيكارد[42] في الكازينو منتعلين أحذية إلكترونية، كان روبرت شو وجيم كْرَتْشْفيلد منتشيين بما بدا أنه يجب أيضاً أن يكون نوعاً آخر من العشوائية. فالشواش، كما سمي، يعلن عن نفسه حتى في المعادلات البسيطة ظاهرياً التي تصف حوادث مألوفة في العالم الميكروسكوبي. وعلى خلاف عشوائية الجهل التي تعوَّد عليها العلماء، فإن الشواش لم يسببه تفاعل الكثير جداً من المتغيرات ليراقبه عقل بشري. وفي الشروط الصحيحة، يبدو أن الأجهزة الأكثر بساطة يمكن أن تولِّد العشوائية التي هي متأصلة ولا يمكن شطبها.

زحفت الأجهزة الشواشية، في جذرها، إلى قوانين الفيزياء النيوتنية، لا إلى ميكانيكا الكم. ولكن الأجهزة الشواشية، على خلاف الأنظمة الأخرى الحتمية، تبدي ما يسميه الفيزيائيون "حساسية مفرطة للشروط الابتدائية." فتيار الماء الذي يجري بهدوء، يتناثر محدثاً صخباً عندما يصطدم فجأة بصخرة. وإذا وضعنا سدادة فلين في عالية التيار، فإنها ستسافر كما يتراءى في سبيل عشوائية. وإذا كررنا التجربة، بوضعها في أقرب نقطة تستطيعها قدرتنا البشرية إلى موضع الانطلاق، فإنها ستتخذ مساراً مختلفاً تماماً. إن أدنى شك في الشروط

---

[42] ورد وصف لإسهامات كرتشفيلد، وفارمر، وبيكارد، وشو في علم الدينميات اللاخطية في الصفحات ٢٤٣-٢٧٢ من كتاب Chaos لـ James Gleick.

الابتدائية يتضخم بسرعة إلى درجة يصبح معها التنبؤ مستحيلاً. وقد عبر أحد علماء الرياضيات عن ذلك بقوله إن المسارات تتباعد أُسِّياً. ففي العلاقة الخطية، $y = 10x$، يرتفع الخرج ببطء عندما تزداد X من ٠ إلى ٦: ٠، ١٠، ٢٠، ٣٠، ٤٠، ٥٠، ٦٠. ولكن لنتأمل ما يحدث عندما نلقِّم الدخل نفسه إلى معادلة أُسِّيَّة: $y = 10^X$. تبدأ قيمة y عند ١، وعندما تزداد X، تقفز قيمة y إلى ١٠، ١٠٠، ١٠٠٠، ١٠٠٠٠، ١٠٠٠٠٠، ١٠٠٠٠٠٠. حتى الجمل الحاد الذكاء يريد، عندما يواجهه جهاز شواشي، الذي تتضخم فيه الاضطرابات البالغة الصغر بشكل أُسِّيّ، يريد أن يعرف الشروط الابتدائية بدقة لا متناهية–إلى النقطة العشرية الرابعة عشرة–لكي يتنبأ بما سيفعله ذلك الجهاز.

واللافت أكثر أيضاً هي حقيقة أن جهازاً ما، لكي يبدي شواشاً، لا يحتاج إلى أن يكون معقداً كالتيار الصاخب. فقد أظهر علماء الرياضيات، في الواقع، أن المعادلات البسيطة بما يكفي لحلها بحاسوب جيب يمكن أن تكون شواشية: إذا غيرنا الأرقام التي نلقمها، فإن الخرج سيكون مختلفاً إلى حد مفرط.

والشواش مثال لما يسميه الفيزيائيون ظواهر لا خطية. وفي معادلة خطية، يسبب تغيير في الدخل تغيراً تناسبياً في الخرج. فلنتأمل أرجوحة الأطفال النواسية. إذا دفعنا الجانب الأيسر من اللوحة بقدر إنش واحد نزولاً، فإن الجانب الأيمن، واعتماداً على المكان الذي نضع فيه نقطة الارتكاز، سيرتفع بقدر نصف إنش، إنش، إنشين. فالدخل والخرج يتشابكان في علاقة خطية. ولكن، لنفترض أن الأرجوحة مصنوعة من مطاط صلب. فإذا دفعنا الجانب الأيسر قليلاً إلى الأسفل، فإن اللوحة تبدأ بالانثناء، ممتصة الحركة؛ ولن يتحرك الجانب الأيمن أبداً. وإذا دفعنا بقوة أكبر، فإن الجانب الأيمن سيبدأ بالتحرك، ولكن ليس بالطريقة المباشرة التي رأيناها من قبل. يمكن أن تسبب الاهتزازات ذبذبة الخرج صعوداً ونزولاً، ويعتمد التردد على شدة وسرعة الدفع، وعلى صلابة المطاط. وإذا حدث وبلغنا تردد رنين الجهاز، فإن الاهتزازات من الخرج يمكن أن تغذي الدخل رجوعياً، مكملة دارة ميكانيكية تسبب اهتزاز اللوحة أكثر فأكثر. ففي الجهاز اللاخطي، هناك الكثير الكثير من العوامل التي يجب أن نضعها في الحسبان.

والمضخم الإلكتروني، كالأرجوحة النواسية، هو نوع من عَتَلَة. والدخل، وهو موجة جيبية ضعيفة يولِّدها وتر مهتز لجيتار إلكتروني، يُرفَع بفعل العتلة إلى موجة جيبية قوية بما يكفي لتشغيل مكبر صوت. فإذا تم ضبط الدارة بشكل صحيح، فإن العلاقة ستكون خطية: شكل الخرج يكون نفسه كالدخل، إلا أنه أكبر. ولكن إذا شغَّلنا مكبر الصوت بقوة كبيرة، بتغذية الدخل بإشارة قوية جداً، فإن التشابه يتعطل. وبدلاً من تموجات مستوية، نحصل على موجات مقصوصة الذرى والقواعد؛ وتُحتبَل موجتنا الجيبية الخالصة السابقة في موجات ثانوية، تسمى التوافقيات، التي تضرب على الترددات، وهي مضاعفات الإشارة التي غذينا بها. ونتيجة لذلك تتنافر الأنغام. ونسمع من مكبر صوتنا طنيناً شاذاً. لقد أصبح مكبر الصوت لا خطياً.

في عالم الرياضيات المجرد، يمكن أن تكون معادلة ما فقط خطية أو لا خطية. والخطية هي دائماً مَثَلَنَة في العالم الواقعي. والأرجوحة الخشبية الصلبة أيضاً تنحني وتهتز، ولكن اللاخطيات تكون واهنة بما يكفي لإهمالها. ومع ذلك، فإن اللاخطية هي التي تهيمن في معظم الحياة.

إن جهاز المقامرة في سنتا كروز عمل بمثل ما عمل لأن الروليت لعبة خطية تقريباً. فالمرء لا يستطيع أبداً

أن يكبس أبخسه الكبير في اللحظة الصحيحة التي تجتاز بها الكرة أو الدوار علامة على أسفل الدولاب. فالكرة ليست كروية تماماً، والعلامة ليست مستوية تماماً. فإذا كانت الروليت مختلة، فإن عدم الدقة سيتضخم أُسِّياً. وفي غضون ثوانٍ، ستتباعد إلى حد مفرط الكرة في الحاسوب والكرة في العالم الواقعي. وكشف باحثو سنتا كروز بعض الظواهر اللاخطية: عندما تغادر كرة مسارها، يمكن أن تصدم واحداً من عدة عواكس صغيرة معينة الشكل على الدوار. والاختلافات الصغيرة في الموضع والسرعة اللذين تصدم بهما الكرة معيَّناً ما ستتضخم أُسِّياً. ولكن هذه التموجات اللاخطية لم تكن كافية لإغراق الإمكانية التنبؤية.

ولعبة البُولة، أو بليياردو الجيوب، قصة أخرى مختلفة جداً. فكلما تصادمت كرتان، فإن سطحيهما الكرويين يضخمان اللا يقينية. لنفترض أننا جمعنا الكرات في المثلث المألوف على اللباد وضربناها بالكرة المدفوعة. ترتد الكرات عن حوافي الطاولة، ضد بعضها بعضاً، ونقوم نحن بتسجيل الترتيب الذي حطت به. والآن، نكرر العملية. ولكن مهما جهدنا في محاولة أن نضع الكرات بالضبط في الموضع نفسه وضرب المثلث في المكان نفسه بالقوة نفسها ومن الزاوية نفسها، فإن الحصيلة ستكون مختلفة تماماً. فمع كل تصادم، سيتكرر تضخم الاختلافات الأدنى التي كانت موجودة في الشروط البدائية. والكرتان اللتان تصادمتا في الجولة الأولى يمكن أن تخطئا بعضهما كلياً؛ والكرة التي ثابرت قبلاً على التصادم مع كرتين أخريين يمكن أن تستثنى من اللعبة عندما تسقط في جيب جانبي. وفي الواقع، عندما بدأ كُرَتْشْفيلد[٤٣] باستكشاف تعقيدات الشواش، حسب أن دقيقة واحدة بعد رمية الافتتاح، ستتغير لعبة البولة بدرجة مهمة تحت تأثير تعارض بسيط في الشروط الابتدائية كالتعارض الذي يسببه الجذب التثاقلي لإلكترون يقع عند الحد الأقصى لدرب التبانة. ولنفترض أن الإلكترون غير موضعه عشوائياً بسبب التراوح الكمومي. هذه الظاهرة التي تبدو جديرة بالإهمال، سوف تتضخم حتى تمارس تأثيراً على اللعبة. بدا أن التشوش كان مضخماً للشك، الذي يوفر حالة يمكن أن تنشأ معها التموجات الكمومية من ركيزة دون ذرية وتتظاهر في الكون النيوتني.

إن الشواش يجعل إمكانية التنبؤ الصحيح مستحيلة. حتى جملنا الكلي المعرفة ستهزمه اللا يقينية-الكمّ وخلاف ذلك-التي تتضخم مراراً بالتصادمات المختلة لكرات البنجو. ولكن الشواش، بالنسبة لأولئك الملزمين بالبحث عن نظام في العالم حولهم، يقدم مبرراً للأمل. حتى الأجهزة البسيطة جداً يمكن أن تكون شواشية. وهكذا، إذا نظر المرء بمثابرة كافية، فإن السلوك الذي بدا عشوائياً يمكن أن يتبيَّن أنه تولَّد بواسطة بضع معادلات بسيطة. وعلى خلاف العشوائية الصرف لميكانيكا الكم، فإن الشواش يعرض تناغماً محجوباً.

باعتبارهم أعضاء فيما بات يُعرَف بوصفه جماعة الأجهزة الدينامية، أو عصبة الشواش، بدأ الفيزيائيون الطموحون الأربعة بالبحث عن الشواش في العالم حولهم، الذي يجدونه في أشياء بسيطة كرفرفة راية أو تقطر صنبور ماء. نفتح صنبور ماء ببطء، فنسمع الماء يقطر بشكل إيقاعي. نفتح الصنبور أكثر قليلاً، فيمكن أن نسمع ما يسميه علماء الرياضيات تضاعف الفترة: دْرِبٌ- دْرِبٌ، دْرِبٌ- دْرِبٌ، دْرِبٌ- دْرِبٌ. ونفتحه أكثر قليلاً، فتتضاعف الفترة مرة بعد مرة إلى درجة يزول معها كل مظهر للنمط إلى عشوائية، التي تكرر أبداً عدم اتساق

[43] Packard، و Farmer، و Crutchfield لـ Scientific American -حساب كرتشفيلد الذي يتضمن الكتروناً عند طرف المجرة هو في "شواش،" و Shaw. ١٩٨٦، كانون الأول ،

النبض. وباستخدام المصابيح الومّاضة، وآلات التصوير، والميكروفونات، والخلايا الضوئية، عكف أعضاء المجموعة باجتهاد على دراسة تقطر الصنبور كما كانوا قد فعلوا في دراستهم لدولاب الروليت. وعندما اكتشفوا مجموعة بسيطة من المعادلات التي أنتجت الإيقاعات المشابهة لتلك التي كانوا قد سجلوها من الصنبور، بدؤوا بتحليلها.

كان علماء الرياضيات يبحثون عن جواذب غريبة. فأظهروا أنه على الرغم من كل العشوائية الظاهرة للأجهزة الشواشية، فإنها كانت تُدار بواسطة هذه الأشياء الرياضية. ففرض جاذب غريب، كان يعمل كمغنطيس، على العشوائية مظهراً مضطرباً. يمكن أن يكون جهاز ما مضطرباً، ولكن أنواعاً معينة فقط من الاضطراب كان مسموحاً بها.

من السهل تصور الجواذب في الأجهزة البسيطة. ورقاص الساعة هو المثال التقليدي. فإذا رسمنا حركته بيانياً، مع تعيين الموضع على المحور الأفقي والسرعة على المحور العمودي؛ فإن ثقله سيرسم دائرة وهو يتأرجح جيئة وذهوباً. وبما أن الاحتكاك يسبب إبطاء الرقاص، فإن الدائرة ستصبح أصغر فأصغر، مدوِّمة إلى نقطة. ويقال إن النقطة هي جاذب الجهاز. وهي موجودة في ما يسميه علماء الرياضيات فضاء الطور. وتنجذب الأجهزة الأكثر تعقيداً بجواذب أكثر تعقيداً. فعلى سبيل المثال، إن حلقة على شكل كعكة مقلية ستطلق جهازاً يدوِّم في اتجاهين: يدور حول محيط الكعكة ويلف على طول داخلها.

كلما أصبح سلوك الجهاز بنائياً ونمطياً أكثر بالنسبة للجاذب، أصبح مهماً أكثر. والجواذب الأكثر تعقيداً، أي الجواذب الغريبة، تدوِّم وتلتف على نفسها، تكراراً، مخلِّفة خربشة من الأنشوطات التي تكون كثيفة إلى ما لا نهاية بالتركيب. وهي ما يسميه علماء الرياضيات أشكالاً منحنية. فلو استطعنا أن نأخذ قطعة صغيرة من الجاذب وكبَّرناها، لوجدنا الخربشة تتكرر بمقياس أصغر. وإذا أخذنا قطعة من ذلك النمط وكبرناها، فإننا سنجد نماذج تتضاءل أكثر فأكثر، وهكذا، إلى ما لا نهاية. إن نظاماً يحكمه جاذب غريب، سيندفع هنا وهناك، وربما لن يكرر نفسه أبداً في مدى حياة المراقب، أو ربما في مدى عمر الكون.

اكتشف أعضاء جماعة سنتا كروز أنه لو أخذوا الأصوات المحاكاة للتقطر التي يولِّدها نمطهم ورسموها بيانياً بالطريقة الصحيحة، لانبثق جاذب غريب يشبه وجهاً يلوح من خلف الغيوم. ولطالما كان علماء الرياضيات مهرة في تركيب جاذب غريب على الورق وإظهار أنهم ولَّدوا شواشاً. وفي الوقت الذي حصلوا على درجات الدكتوراه، جميعهم في مطلع ثمانينيات القرن الماضي، كان أعضاء عصبة الشواش قد طوروا تقنية لأخذ معطيات غير نمطية كما يبدو وإعادة تركيب الجاذب. يمكن أحياناً فصل الشواش الممتثل للقانون عما يبدو من نواحي أخرى ضجيجاً عشوائياً. ومن تعقيد، أو بُعدِيَّة الجواذب–التي قيست باستخدام أبعاد كسرية، أو أشكال منحنية، يستطيع المرء أن يقيس مباشرة مدى عرضية الجهاز الشواشي. بالنسبة للأجهزة ذات الجواذب القصيرة الأبعاد البسيطة نسبياً، يمكن أن يكون هناك أمل بتنبؤ تقريبي. وعند الفشل، يستطيع المرء، على الأقل، أن يبدي إعجابه بجمال الهندسة التي تستبطن ما ظهر على السطح ليكون حدثاً طارئاً. ويمكن للمرء أن يكتفي بالتشوف البشري للتماثلات الدفينة التي تتبعثر مكوِّنة العالم الواقعي.

من تأمل البنجو، والروليت، وصنابير قطر الماء، يمكن أن يستنتج المرء أن في العالم ثلاثة أنواع من العشوائية: عشوائية تعزى إلى التعقيد (هناك الكثير جداً من العوامل التي تتطلب فهماً من أدمغتنا المسكينة)، وعشوائية تعزى إلى الشواش (النظام المستبطن بسيط ولكنه محكوم بجاذب غريب)، وعشوائية تعزى إلى اللا يقينية الكمومية، التي لا يمكن أبداً التغلب عليها. عندما يواجهنا شيء لا نفهمه، يمكن أن نكمل أدمغتنا بحواسيب، كما فعل لاعبو الروليت، ونبحث عن علاقات لم يزودنا التطور بذكاء يكفي لفهمها. أو يمكن أن نبحث عن نظام خفي، في شكل جاذب غريب. ولكن عندما ننظر إلى العالم، فإننا، في معظم الوقت، لا نستطيع أن نميز بين عشوائية ونظام هو ببساطة أعمق من أن نسبر غوره. فإلى أي عمق يجب أن نحفر بحثاً عن جاذب؟ وهل سيظهر النمط، إذا أنعمنا النظر أكثر بقليل؟ إن أكثر ما يبدو لمعظمنا منظماً يجب أن يبدو عشوائياً واعتباطياً بالنسبة لكلب، أو، في الواقع، بالنسبة لطفل أو شخص معوق. وبهذا المعنى، تكون العشوائية، في الواقع، في نظر المشاهد. وعبر عن هذا دويْني فارمر بالقول، "تبدو الروليت عشوائية إلا إذا صدف وكان المرء يُخفي حاسوباً في حذائه." ولكن، يمكن أن نتخيل مخلوقات وُلِدَت مزودة بالمكافئ العصبي للحواسيب في أحذيتهم، وأدمغة مقتدرة جداً إلى درجة يستطيعون معها رؤية أنظمة غير منظورة بالنسبة لنا.

لنفترض أننا نستقبل موجات كهرطيسية من الفضاء ونترجم التموجات إلى أرقام: ١ ١ ١ ١ ٣ ١ ٧ ٧ ٣ ٩. فهل هي إشارة أو ضجيج؟ وإذا لم نستطع، مهما حاولنا، أن نكتشف قاعدة لتوليد هذه السلسلة، عندئذٍ سنستنتج أن المتتالية عشوائية بجلاء وليست نقلاً غريباً بأية حال. ولكن هل يعني هذا أن نمطاً مخبأ يفوتنا؟ ربما يكون المرسل أكثر ذكاء منا. إن طالباً في الصف السادس ميالاً للرياضيات، يدرس دوائر وأنصاف أقطار، يمكن أن يميز هذه الإشارة من درس الهندسة: ٣١٤١٥٩. وربما هناك كائنات ذات أدمغة أكثر قدرة ستميز السلسلة الأقدم بوصفها جزءاً من المشهد المألوف هناك t في المناطق النائية بين الأرقام اللا نهائية لـ π.

إن الاختلاف بين أرقام π وما نعتبره رقماً عشوائياً حقاً–يولِّده ربما النقف لقطعة نقدية متوازنة تماماً أو النيوترونات التي تطلق كَماًّ–ميكانيكياً من انحلال ذرات اليورانيوم–هو أن π يمكن إنتاجها بعملية بسيطة: تقسيم محيط دائرة على قطرها. يمكن ضغط المعلومات اللا نهائية في التوسيع العشري لـ π إلى خوارزمية محكمة، أي إلى برنامج سيولِّد الرقم. وبطريقة مماثلة، يمكن ضغط المتتالية ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩، ١٠، ١١، ١٢... إلى قانون بسيط أو برنامج حاسوبي، كما يمكن ضغط المتتالية ١٢١٢١٢١٢١٢١٢١٢...

لنفترض أنه أُعطينا أرقاماً ولَّدتها دحرجات زهر النرد: ٢ ٦ ٦ ٣ ١ ٦ ٥ ٦ ١ ١... هناك احتمال متناهي الصغر لدحرجة رقم قابل للانضغاط. ولكن، بوجه عام، لن نجد طريقة لتوضيح الرقم الذي نولِّده بالاختزال. والخوارزمية الأصغر التي سيقولها حاسوب بسرعة هي "اطبع ٢٦٦٣١٦٥٦١١..." والبرنامج لتوليد π يكون أصغر إلى ما لا نهاية من π نفسها. والبرنامج لتوليد رقم عشوائي يكون أطول من الرقم نفسه: يحتوي على كل رقم مفرد إضافة إلى أمر بطبعها. وبمعنى آخر، إن رقماً عشوائياً هو وصفه الخاص الأقصر.

بهذا المعنى، يمكن القول إن سلسلة عشوائية يجب أن تكون أكثر تعقيداً من π؛ ويتطلب توضيحها معلومات

أكثر استفاضة. وفي الواقع، عرَّف عالم الرياضيات الأمريكي جريجوري شيتِن[44] والروسي أندريه كولموجروف تعقيد الرقم بوصفه بأنه طول البرنامج الحاسوبي الأقصر الذي سيقوله بسرعة. (على الرغم من أن هذا التعريف مقنع حدسياً بطرق كثيرة، إلا أنه يتركنا لاستنتاج غريب يفيد بأن المنظومات العشوائية تحتوي على معلومات أكثر –وأكثر تعقيداً– من تلك الخاضعة لنظام. إن هذه المعلومات الخوارزمية، كما سنرى فيما بعد، تتعارض غالباً مع نظرية المعلومات لشانون، التي تقول إن المنظومات البعيدة الاحتمال التي تخضع لنظام تحتوي على معلومات أكثر من تلك التي لا تخضع لنظام.)

وعلى ضوء تعريف شيتِن وكولموجروف، فإن السؤال هو ما إذا كانت البنجو، بأية حال، قابلة لتنبؤ يصل إلى هذا: إلى أي مدى نستطيع أن نضغط سلسلة الأرقام التي تظهر من مكنة البنجو؟ وإذا درسنا المعطيات من لعبة نمطية، فإننا سنكتشف بعض النماذج واضحة بصورة مباشرة: الأرقام من ١–١٥ تترافق دائماً بالحرف B، ومن ١٦–٣٠ بالحرف I. الحرفان مجرد ملاءمة، وبالتالي لن يحتاج المرء إلى تفرس كامل مصفوفة البنجو بحثاً عن الرقم ٤٤–سيكون دائماً في الصف N. فالحروف معلومات إضافية. وإذا تخلصنا منها، فإنه يمكن فوراً ضغط السلسلة بالنصف. وعندما نريد، نستطيع أن نأخذ السلسلة المضغوطة، ونستعيدها بقاعدة بسيطة.

ولكن هذا لن يساعد كثيراً. فهل هناك انضغاطات أقل تفاهة في الأرقام، أي انحرافات مهمة عن العشوائية؟ ربما تكون بعض الكرات أثقل بقليل من كرات أخرى. إن تشكيل الحرف I يستهلك دهاناً أقل مما يستهلكه تشكيل حرف O. وحروف O أيضاً تترافق بأرقام أثقل وأكثر حبراً: أرقام ٦٠ وأرقام ٧٠. ولنفترض أن عوامل كهذه تآمرت لكي تجعل ظهور بعض الحروف أكثر احتمالاً من حروف أخرى، تماماً كإمالة دولاب الروليت الذي دعم قطاعات ثُمْنِيَّة معينة. وبتحليل خرج مكنة البنجو، يمكن أن نكتشف هذه الانتظامات. وسيُستخرَج قدر ضئيل جداً من العشوائية من اللعبة. نحن، في معظم الوقت، نبحث عن هذه الانضغاطات دون طائل. ولكن دائماً يبقى هناك أمل في أن نرى ما لم يره أحد، فقط إذا حدقنا وركزنا أكثر بقليل.

في مرحلة ما، ستصطدم أدمغتنا بحدود لا يمكن تخطيها. فقد أثبت شيتِن أنه لا يوجد برنامج يمكن أن يولِّد رقماً أكثر تعقيداً من ذاته، "أي شيء أكثر من أن امرأة حاملاً بوزن مئة باوند يمكن أن تلد طفلاً بوزن مئتي باوند."[45] وعلى العكس، أظهر شيتِن أنه يستحيل على برنامج أن يثبت أن رقماً أكثر تعقيداً من ذاته يكون عشوائياً. إذا كان العقل نوعاً من حاسوب، عندئذٍ يجوز لنا أن نستنتج أن هناك تعقيداً عميقاً جداً إلى حد لا نستطيع معه أبداً أن نخترقه؛ وهو نظام سيبدو لنا دائماً كعشوائية. وإذا استطعنا أن نثبت أن الظاهرة كانت عشوائية، عندئذٍ نستطيع أن نسلِّم بحدودنا ونتخلى عن البحث. ولكن حتى ذلك مستحيل. وليس هناك سبيل إلى أن نعرف بالتأكيد ما إذا كنا نغفل انضغاطاً مخاتلاً. وهكذا نكون محكومين بمواصلة البحث، دون أن نعرف أبداً ما إذا كان هناك شيء ما ينتظر منا أن نكتشفه.

---

[44] وفي casti John لـ Searching for Certainty -ورد وصف لعمل شيتِن حول معلومات حسابية لجمهور علماني في الفصل السادس من "Randomness in Arithmetic," Scientific American لـ Chaitin، تموز ١٩٨٨. انظر أيضاً كتب Chaitin :Information, Randomness. And Incompleteness و؛ الطبعة الثانية، Algorithmic Theory، ١٩٨٧.

[45] Casi لـ Searching for Certainty - "أي امرأة حامل تزن أكثر من مئة باوند":

إن اكتشاف شيتِن مهم ليس فقط بالنسبة للمقامرين وعلماء الرياضيات. فلماذا العلم إذا لم يكن للبحث عن انضغاطات، عن قوانين بسيطة؟ نحن نجمع المعطيات–حركة مصادر الضوء خلال السماء–ونشكل انضغاطات: فلك التدوير لبطليموس، وقوانين كِبْلَر. ولكن كثيراً ما نحدق بالمعطيات، وننظمها بهذه الطريقة أو تلك، باحثين عبثاً عن بساطة مستبطنة. فهل النظام عشوائي أو ببساطة أكثر تعقيداً مما نستطيع سبره، مهما كانت مقدرة الحواسيب التي نضعها في أحذيتنا؟ وسواء كانت الإشارات التي نتفحصها آتية من ذرة، أو نجم، أو مكنة بنجو، فإننا لن نعرف أبداً متى نكون كفوئين في تخطي حدود قوتنا لضغطها.

من وجهة نظر عالم الرياضيات، نحن، في الواقع، أكثر ميلاً بكثير إلى اكتشاف العشوائية حولنا أكثر من النظام. باستثناء جزء ضئيل جداً غير مهم، كل الأرقام الحقيقية عشوائية، تتألف من متتالية لا نهائية من أرقام لا تتكرر أبداً. وهي، بأوصافها الخاصة الأقصر، غير قابلة للانضغاط. وهكذا، نُترَك في عالم غريب، حيث معظم الأرقام التي نواجهها تكون عشوائية، ولكن حيث لا نستطيع أن نركن إلى إثبات ما إذا كان عدد إفرادي عشوائياً أم لا.

يبدو أن العشوائية تغوص حتى إلى أعمق من ذلك. فقد أثبت عالم الرياضيات كورت جوديل أن أية منظومة رياضية ذات قدرة كافية، تحتوي على بيانات لا يمكن إثبات صحتها أو خطئها. ومضى شيتِن إلى حد أبعد، حيث أظهر أن هناك رقماً لا متناهياً للبيانات التي يستطيع المرء أن يضعها حول الحساب الذي لا يمكن ضغطه.–أي، لا يمكن فهمه باختزاله إلى حقائق أبسط. وليست هناك طريقة لإثبات صحته أو خطئه؛ وأفضل ما يمكن فعله هو نقف قطعة نقدية. وكما يرى شيتِن، هذا معادل للقول إن بنيان الحساب عشوائي. وقد قال، "الإله يلعب النرد ليس فقط بميكانيكا الكم، ولكن أيضاً بالأعداد الصحيحة."[٤٦]

المقامرة والعلم: اكتشاف انضغاطات هو كل ما تم التوصل إليه. والانضغاطات تروغ منا أحياناً ونرى عشوائية. ولكن أحياناً نتخيل انضغاطات ليست موجودة في الواقع. ففي قاعة البنجو، استطعنا أن نلاحظ أنه في المرات الثلاث الأخيرة التي ربحنا فيها رهاناً بسيطاً، كنا نستخدم واسماً قرنفلي اللون لشطب الأرقام على بطاقاتنا. وهكذا، ثابرنا منذ ذلك الوقت فصاعداً، على وسم تلك البطاقات باللون السحري. وبعد أسابيع من مجافاة الحظ لنا، كان يمكن أن نتحول إلى اللون الأخضر، الذي بدا لنا أنه يحقق نجاحاً لجارنا الرابح. أو كان يمكن أن ننعم النظر ونستنتج أن اللون القرنفلي ينجح أكثر أيام السبت، والأخضر أيام الأحد. أم أن موضع القمر يمارس تأثيراً ما؟ عندما توضع حمامات في أكشاك تجار الجلود وتعطى تقوية غذائية في شكل حبيبات،[٤٧] فإنها تطور حركات طقوسية، اهتزازية وتمعجية، كأنها تحاول أن ترجو الآلهة بأن تقدِّر لها مصيراً حسناً.

إن انضغاطاتنا الكاذبة–نسميها معتقدات خرافية–يمكن أن تكون بسيطة كحمل كف أرنب أو اعتمار قبعة صيد مُسْعِدَة. ويصر أتباع العصر الحديث في سنتافي على أنه إذا حمل المرء بلُّورة ذات تردد رنيني صحيح، فإنها تصرف الأغنياء روحياً ومادياً عن طريقه. فإذا زيَّن أحدنا حياته وفقاً لذلك، فإنه سيتناغم مع السماء. ويمكنه، ببلُّورة مناسبة، أن يعدّل التشوش وينصت إلى موسيقا الكواكب.

---

[46]- "God not only plays dice in quantum mechanics". المصدر السابق، ص ٣٩٠ :

[47] في الخمسينيات. Richard Herrnstein -إن الدراسات حول تأثيرات التقوية العشوائية للحمائم، أنجزها

تفرق أعضاء جماعة سنتا كروز بعد أن حصلوا على شهاداتهم. وفي مطلع ثمانينات القرن الماضي، انتقل بيكارد إلى معهد الدراسة المتقدمة في برنستون، في نيوجرسي، ثم إلى مركز بحث الأجهزة المعقدة في جامعة إيلينوي. وانتقل فارمر وزوجته المستقبلية ليتي بيلِن، وهي محامية بيئية، إلى بيت على نهر تيسوك، ليس بعيداً عن الجمل وقاعة البنچو في تيسوك. راح فارمر يقوم برحلات يومية إلى مركز الدراسات اللاخطية في لوس ألاموس لاستكشاف أنظمة معقدة كالجهاز المنيع وأنظمة عشوائية في الظاهر كسوق البورصة. ولما كان يشعر بالضيق من العمل فيما بدأ حصراً كمختبر للأسلحة، فإنه دأب على إنهاء بحوثه بالقول متنصلاً، "ألح على القارئ بأن يستخدم هذه النتائج لأغراض السلام."

وفي عام ١٩٩١، مال طريقا فارمر وبيكارد إلى الالتقاء من جديد، عندما شكلا شركة التنبؤ في سنتافي، على أمل استخدام مهاراتهما في تحليل الأنظمة المعقدة للأسواق المالية. إن معظم علماء الاقتصاد يعتبرون أن البورصة هي ما يسميه علماء الإحصاء المشي العشوائي. وملايين المشترين والبائعين، الذين تأثروا بعوامل منطقية ولا منطقية، يتفاعلون بطرق متعددة جداً وقد تضافروا من أجلنا أو لتعقب حواسيبنا. فإذا أصدرت شركة ما تقرير أرباح سيء بشكل مفاجئ، فإنه من المحتمل أن يهبط سعر السهم (على الرغم مما يبدو في غالب الأحيان تقريباً أن السعر يصعد عكسياً). ولكن هذه الترابطات السببية البسيطة نادرة وغير موثوقة، إشارات ضعيفة تغمرها خلفية الضجيج. وبوجه عام، يقال إن تقلبات البورصة من يوم ليوم مستقلة كنقفات قطعة النقود. يمكن أن نأخذ سجل الأسعار للسنة الماضية ونرسمه بيانياً بطريقة أو بأخرى، بحثاً عن نماذج. ولكن لا شيء في التعرجات سينذر بالمستقبل بعد الآن غير الترتيبات السابقة لوجوه وأقفية القطعة النقدية التي ستتنبأ بما سيكون السقوط التالي لها. ويُفترَض أنه حتى لو كانت هناك إشارات موثوقة، فإنها ستكون تصحيحاً ذاتياً: إذا كانت ثلاثة تعرجات متبوعة بتعرج واحد تعني ارتفاع نقطة غداً، عندئذٍ سيلاحظ الكثير جداً من الناس هذا النمط ويشترون السهم اليوم بقدر ما تنعكس المعلومات الآن في السعر. وفي اللغة الاصطلاحية للتجارة، فإن المعلومات في السوق.

في هذه المثلنة، تكون السوق مُعامِلاً فعالاً تماماً للمعلومات. وتمضي النظرية فتقول: باختصار، لا يستطيع المرء حتى أن يستفيد من طريق متابعة أخبار الأعمال: إذا كانت شركة على وشك أن تعلن عن تسريح مؤقت للعمال أو عقد جديد، فإنه يمكن أن نتأكد من أن السوق قد امتصت الحقيقة، وبالتالي، يكون الكثير من الناس (على صلات أفضل من صلاتنا) قد اشتروا وباعوا بناء على المعلومات التي انعكست في السعر.

وفي نظرية المشي العشوائي مضمون غريب، هو أن معظم الناس يجب ألا يصدقوا بأنها صحيحة. لأنه إذا انعكست كل المعلومات المتاحة فوراً تقريباً في سعر السهم، عندئذٍ يجب أن يكون أحدهم قائماً على جمعها. فلم تمنع أية كمية من الدراسات من مدارس أعمال سلون أو وارطون من محاولة التغلب على السوق بالحيلة والدهاء، أي من محاولة اكتشاف انضغاطات في تعرجات وتعرجات الرسوم البيانية المالية. وإذا لم تكن السوق فعالة تماماً–إذا كان هناك تباطؤ بين لحظة اكتشاف نتفة من المعلومات ولحظة معرفة كل واحد بها–عندئذٍ يمكن أن تكون كمية محدودة من التنبؤ ممكنة. وأخيراً، افترِض أن الروليت أيضاً عشوائية.

في حين يدرس معظم المتنبئين، الأصوليين المعروفين، المعطيات الاقتصادية والتقارير المالية للشركات بحثاً عن مفاتيح دليلية، يدرس آخرون تقلبات الأسعار باجتهاد كالفلكيين الإشعاعيين الذين ينعمون النظر إلى إشارات غير منظورة من نجم بعيد، بحثاً عن أضعف الأنماط. إن القواعد الأساسية للشركات والأخبار الاقتصادية هي مجرد تسلية بالنسبة لهؤلاء التقنيين، أو خبراء البورصة[٤٨] كما يُدعَوْن أحياناً. فهم يفضلون ألا يعرفوا حتى اسم الشركة، فقط شكل الخط الذي يرسم تأرجحات الأسهم في السعر. بعضهم متصلب جداً حتى أنه يحاول أن ينغلق على نفسه بعيداً عن العالم، كهيئة محلفين منعزلة دائماً. وتماماً كما أن كل نتف المعلومات حول وثب كرات البنجو وبناء مكنة البنجو، وربما حتى قوانين الميكانيكا، الكمومية والنيوتُنية، متضمنة في تيار أرقام يستدعى من قبل رئيس التشريفات، فإنهم هكذا يعتقدون بأن المعلومات الحاسمة حول الأسهم تنعكس في التقلبات. وكل ما يتبقى هو تحليل السجل والتنبؤ كيف سيظهر للعيان.

إن بعض الأشكال التي يراها خبراء البورصة يمكن أن تكون انعكاسات بسيطة للطبيعة البشرية. فالأسهم يمكن أن تتذبذب كموجة أُشْرِيَّة[٤٩]، قلما تهبط دون ٤٠ أو ترتفع فوق ٥٠. وفي الصورة الذهنية التي نكوِّنها، يكون السعر ككرة مطاطية التي ترتد عن سقف وأرضية غرفة بارتفاع ١٠ نقاط. فإذا اخترق السعر ٥٠، فإن بعض الناس يمكن أن يعتبروه إشارة للشراء–أوقات أفضل إلى أمام. ومع ذلك، يمكن أن يستخدمه آخرون كمبرر لتحويل فوائدهم إلى نقد. وهكذا يتحقق توازن تقريبي.

ويرى خبراء البورصة الأوسع خيالاً مجموعات تحمل أسماء كتلك التي يبحث عنها لاعبو البنجو في بطاقاتهم: تشكيل الرأس والكتفين، العجيزة المدورة، راية البطولة، الجزيرة، فرجة حاجز الطريق. ويقسم البعض على أنه يرى ما يسمى موجات إليوت: اهتزازات واهتزازات ضمن اهتزازات تتموج مذعنة لقانون، حاملة الأغنياء في زبدها. فهل هذه الانضغاطات صحيحة أوكاذبة، أو علاقات ماكرة أو خرافات؟ أحياناً، من المستحيل أن نعرف. فإذا اقتنع الكثير من المستثمرين بأن نمطاً معيناً يعني الشراء أو البيع، عندئذٍ يمكن أن تصبح نبوءة إنجاز ذاتي: سيستجيب ما يكفي من الناس إلى الإشارة لتحريك السوق. ولكن إذا انتشر الاعتقاد، عندئذٍ يصبح نبوءة محبطة للذات: توازن التموج جماعات من الناس تشتري يوم الثلاثاء متوقعة ارتفاع الأسهم يوم الأربعاء.

ولكن، ماذا لو استخدم المرء تحليلاً رياضياً معقداً لاكتشاف أنماط مخاتلة جداً وخفية ليراها أكثر الناس؟ فعلى سبيل المثال، هل يمكن لجاذب غريب أن يحكم التموجات العشوائية ظاهرياً للأسهم؟ لو صح ذلك، لأمكن ادخار المعلومات واستثمارها. ولتمكنت النخبة الرياضية من قشد زبدة الأغنياء قبل انتشار المعرفة وإيصاد نافذة الفرصة.

في دراساتها لصنبور القطر، اكتشفت جماعة سنتا كروز طرقاً لاختبار الشواش وطرقاً لإثارة جواذب غريبة من تيار المعلومات. وعلى مدى ثمانينيات القرن الماضي، قام العلماء بصقل هذه العدسات الرياضية، وكان بعض علماء الاقتصاد يستخدمونها لإنعام النظر في سوق البورصة. ربما تكون عشوائية السوق شواشية، ولَّدتها

---

[48] . ولتذوق Burton Malkiel لـ A Random Walk Down Wall Street -نوقشت فكرة أن البورصة معالج فعال إلى حد مثالي للمعلومات في ، و Kenneth Arrow، و Philip Anderson بعض النظريات البديلة التي طُورَت في معهد سنتافي وأمكنة أخرى، انظر البحوث التي جمعها David Pines في The Economy as an Evolving Complex System. وانظر أيضاً الفصل الرابع من Searching for Certainty لـ Casi.

[49] شكل موجي تتغير سعته خطياً، صعوداً وهبوطاً، بين قيمتين، وتكون الفترة الزمنية اللازمة للصعود أكبر كثيراً من تلك اللازمة للهبوط-المترجم.

معادلات لا خطية بسيطة. ولو استطاع المرء أن ينظر من خلال الضجيج، فلربما وجد هناك أنظمة يستثمرها، جواذب تعطي، على الأقل، شكلاً ما للمعطيات.

هناك مبررات للاعتقاد بأنه يمكن تحليل الأسواق برياضيات لا خطية. وإذا كان الملايين من المستثمرين العصبيين ينتظرون الخروج من ضمان الأسهم المسعَّرة بأسعار مرتفعة، فإن أدنى تقلب يمكن أن يسبب انهياراً: حساسية للشروط الابتدائية. والأسعار أيضاً تخضع لتأثيرات التغذية الراجعة، وهي مصدر آخر للاّخطية: تصعد الأسهم ويشتريها المزيد من الناس، وبالتالي ترتفع بسرعة أكبر، جاذبة أيضاً المزيد من المشترين. وهذا كأننا نضع لاقط الصوت في جيتار إلكتروني قريباً جداً من مكبر الصوت: الخرج يصبح دخلاً يصبح خرجاً، كالصور التي ترتد بين المرايا. ويصبح الصوت أعلى وأعلى، دافعاً مكبر الصوت إلى صرخة لا خطية مدوِّخة.

في أواخر ثمانينيات القرن الماضي، اكتشف عالما الاقتصاد، خوزيه شينكمان من جامعة شيكاغو وبليك لوبارون، الذي وزع وقته بين جامعة وِسْكونسن ومعهد سنتافي، دليلاً على جاذب غريب في معطيات أسعار البورصة. ففي عام ١٩٨٧، عندما اجتمع علماء الفيزياء، والرياضيات، والاقتصاد في المعهد من أجل مؤتمر سمي "الاقتصاد بوصفه نظاماً متطوراً معقداً،" ناقش عدد من المتحدثين، بمن فيهم فارمر وبيكارد، إمكانية اكتشاف إيقاعات مستبطنة. ولعلهم لم ينجحوا أبداً في اكتشاف مولِّد وحدة الإيقاع، ولكن كان هناك دليل على أن المحاولة، على الأقل، لا تخلو من المعنى.

وبولادة شركة التنبؤ، مباشرة جنوب شرق ساحة سنتافي، انبعثت روح مشروع الروليت وجماعة شواش سنتا كروز. وبمراهنة المستثمرين في سنتافي وشيكاغو، بدأت الشركة باستخدام حواسيب في محاولة للتنبؤ لسوق صرف العملة، حيث كان لدى فارمر وبيكارد مبرر للاعتقاد بأنه أقل ضجيجاً من سوق البورصة. فتعقبا آلياً أثر مئات المتغيرات–المعدل الصناعي لداو جونز، ستاندارد وبور ٥٠٠، سعر الدولار، سعر الينّ، مبيعات ومشتريات بورك بيلي الآجلة وخيارات البورصة. وكل منها يمكن اعتباره محوراً على الرسم البياني: رسم النقاط يعطي شكلاً غريباً في حيز متعدد الأبعاد. فإذا كانت هناك جواذب ضئيلة الأبعاد تترصد داخل هذه المشاهد الفائقة، فإنها تبقى مراوغة، ولكن فارمر وبيكارد يأملان أن تكون هناك أنماط أخرى سريعة الزوال جداً لرؤية خبراء البورصة–يمكن تمحيصها بتكملة أدمغتهم بأصناف مختلفة من الذكاء الاصطناعي. فقد أثبتت الشبكات العصبية، والبرامج التي تحاكي النسج البسيطة للعصبونات أنها ماهرة في تمييز بعض الأنماط. في معهد سنتافي، يدرس أتباع جون هولاند، عالم الحاسوب في جامعة ميشغن، طرقاً لاستخدام "الخوارزميات الوراثية" لتطوير برمجيات سيكون تصميمها معقداً جداً بالنسبة للإنسان. ويقوم العلماء، مقتبسين من مبادئ التطور الدارويني، بوضع برامج تُحوَّل فيها عشوائياً سلاسل رموز الحاسوب وتُحمَل على التنافس ضد بعضها بعضاً حتى يظهر الرابح: الحاسوب أفضل قدرة لإنجاز المهمة. يُطلَق حشد من الخوارزميات الوراثية على معطيات السوق وربما سيُطوِّر بعضُها القدرةَ على اكتشاف جيوب إمكانية التنبوء. وباستخدام هذه التقنية وتقنيات أخرى، يأمل فارمر وبيكارد أن يحققا الحلم الذي حلموا به في سنتا كروز: كسب ما يكفي من المال للانفصال عن المؤسسة ومتابعة المعرفة لحسابهم الخاص. فإذا كانت الأنماط التي اكتشفاها واقعية وليست أوهاماً إحصائية، فإنهما سيكونان على صواب فقط في نسبة بسيطة من الوقت. ومع ما يكفي من المال للمراهنة، فإنه حتى الحد

الأدنى يمكن أن يجعل المرء ثرياً.

يمكن أن نتوقع لآخرين مجهزين بصورة مماثلة أن يكتشفوا، عاجلاً أو آجلاً، هذه الأنظمة الخفية. ستُغلَق نافذة إمكانية التنبؤ، وستُكتشَف أنظمة أخرى أكثر مكراً. يمكن أن يتخيل المرء سباق أسلحة مالية عندما تُوجَّه إلى المعطيات عدسات حاسوبية أكثر وأكثر قوة، تحدق من أجل رسالة خفية يمكن أن تولِّد أرباحاً على مدى أسبوع أو أسبوعين. وقال فارمر، "السؤال هو ما إذا كنا نستطيع أن نتطور ونبقى متقدمين على منافسينا."

وفي النهاية، إن كل بحوثنا من أجل النظام مقدر لها أن تسبر غور العشوائية. ومهما كان مدى نجاحنا في ضغط الإشارات التي تتدفق حولنا، فإنه سيكون هناك دائماً شيء من اللا يقينية الذي يتعذر اختزاله باكتشاف جاذب ضئيل الأبعاد. ومع العشوائية الكمومية، لن يكون الكثير من التحكم ممكناً.

شيء ما حول العقل، الذي يُزوَّد بأسلاك لاكتشاف أنماط واقعية وخيالية، يتمرد على هذه الفكرة، فكرة نظام أساسي. وقد توصل بعض العلماء، كفارمر وكْرَتشْفيلد، إلى سؤال ما إذا كان لا يمكن، في الواقع، اختراق العشوائية الكمومية. وأخيراً، أظهر شيتِن أنه لا نستطيع أبداً أن نعرف إذا كنا حققنا انضغاطاً نهائياً: يمكن أن تكون هناك زيادات يجب اعتصارها. فكيف إذاً نستطيع أن نعرف أن العشوائية الكمومية متأصلة؟ قد يبدو أن النيوترونات تتطاير من اضمحلال النوى دون نمط. ولكن ربما نستطيع فقط أن نرى الانضغاط. وهذا، بالنسبة لمعظم علماء الفيزياء، هو أسوأ نوع من الهرطقة، كمحاولة إثبات أن الأرض، في الواقع، هي مركز الكون.

ومع ذلك، لم يستطع فارمر أن يمنع نفسه من الانشداه أمام كل الشذوذات. وقد غامر بالقول، "إذا قشرنا الطبقة التالية من بصلة علمية،"[50] فربما سنرى أن اللاحتمية الكمومية تنشأ بطريقة ما من شواش، إلى درجة يكون معها هناك طريقة للجنون. وهو، كأيْنشتاين، لم يصدق أن الإله يلعب النرد.

---

[50] "قشرنا الطبقة التالية من بصلة علمية": Farmer و J.J. Sidorowich -إذا "هل يمكن أن تعمل المقاربات الجديدة للتشكيل الخطي على تحسين النبوءات الاقتصادية؟،" في The Economy as an Evolving Complex System لـ Anderson، و Arrow، و Pines.

القسم الثاني

"الكهف الرمادي البارد للتجريد"

لماذا يبدو كأن شآبيب المطر وحتى العواصف تأتي صدفة،
إلى درجة أن الكثير من الناس يعتقدون أنه من الطبيعي جداً
أن يصلُّوا من أجل المطر والطقس الجيد،
ولكن يبدو مضحكاً أن يطلبوا خسوفاً في صلواتهم؟

–هنري بوانكريه، العلم والمنهج

الفصل الرابع

شيطنة المعلومات

في البداية، كان طريق كَمينو رِيَل هو الطريق الذي يربط سنتافي بباقي الكون المعروف، الطريق العام الملكي الذي يمتد صعوداً من مكسيكو سيتي، ليلتقي مع ريو چراند عند إلپاسو ويسايره شمالاً خلال ألْبوكرك، وسنتافي، ويواصل إلى المناطق النائية في أسبانيا الجديدة. واليوم، استُبدِل الجزء الأمريكي من طريق كمينو رِيَل بالطريق الدولية ٢٥، ولكن المنظر الجميل على امتداد الطريق يبقى جميلاً كما كان تقريباً. إن أولئك الذين يسافرون جواً إلى مطار ألبوكرك الدولي ثم يسافرون بالسيارة شمالاً لحضور مؤتمر علمي في سنتافي أو لوس ألاموس، يعبرون مشهداً صارماً يشبه إلى حد بعيد منظر منشار الفاتحين الأسبان.

وإلى الشرق، عندما يغادر المرء امتداد منطقة ألبوكرك المتروبوليتية، ترتفع جبال سانديا تقريباً إلى ستة آلاف قدم فوق منطقة هي اليوم بارتفاع ميل واحد، كاشفة واجهة صخرية متصدعة جداً ومنحدرة جداً، حتى ليبدو كأن نصف الجبل قد اقتُطِع. وجبال سانديا مثال لما يسميه الجيولوجيون جبل كتلة صدعية. وهي، كجبال سانچر دو كريستوس، ضُغطَت من الأرض عندما تصادمت صفيحتان قاريتان، ولكن في حالة سانديا، انهار جانب واحد؛ ويشكل الوجه الغربي الأجرد للجبل، بدلاً من أن يكون سفحاً، امتداداً عمودياً تقريباً لجدران چرانيتية شاهقة. والجدار شيلد [الترس] الذي هو أكثرها شهرة، هائل جداً، كما تقول كتب إرشاد السائحين، حتى أن بعضاً من المرتقيات الصاعدة الأكثر إرهاقاً يمكن أن تتطلب أياماً من التسلق المجهد، فيقضي المتسلق الليالي مربوطاً بحبل إلى جرف كدودة خيمة تحاول أن تستسلم للنوم على أرضية تنحدر عمودياً.

وإلى الغرب، وراء خط البراكين الخامدة، بالكاد يستطيع المرء أن يرى جبل تايلور، وهو نتوء مسنن في الأفق، وقد سمي باسم الجنرال زكاري تايلور، بعد أن استولى على هذه الأرض من المكسيكيين في حرب ١٨٤٦. وكان المكسيكيون، والاسبان قبلهم، يسمُّون هذا الجبل سيبوليتا "البصلة الصغيرة." وأخذوا التسمية من النڤاجوس الذين كانوا يسمونه جبل الفيروز ويعتبرونه الحد الجنوبي لعالمهم وموطن المسخ القاتل، وهو أحد التوأمين البطلين الخرافيين اللذين قاتلا ضد أشرار الأرض. نقود السيارة غرباً من ألبوكرك على الطريق الدولية ٤٠، وهو الطريق القديم ٦٦، مباشرة قبل چرانتس، وهي بلدة تعدين كانت قد أعلنت نفسها في أوقات أفضل كعاصمة لليورانيوم في الولايات المتحدة، ونعبر على فقاعات الطفح البركاني المتحجرة للملبيز ("الأرض السيئة")؛ التي يقول النڤاجوس إنها الدم المتجمد لـ يي–إتسا، وهو أحد ضحايا المسخ القاتل. ويمكن أن نجد رأس يي–إتسا إلى الشمال على شكل رقبة بركانية قديمة مع كتفين مائلين سماه الاسبان كابيزيون بيك (رأس الشخص الضخم والبشع.) أما عظام (يقول الجيولوجيون إنها أشجار متحجرة) يي–إتسا فتقع شرق ألبوكيرك. ومع أن يي–إتسا قُتِل وتحول إلى حجر، كما تقول الأسطورة، فإن مسوخاً أخرى بقيت على قيد الحياة. وما تزال عفاريت تدعى هَنْچِر، وهي نهمة وقذرة، وهرمة تجوس الأرض خلسة.

ضمَّن هنود القرى النڤاجوس بين المسوخ وما زالوا يتذكرون قصص غاراتهم على القرى المبنية من اللبن التي تقع بين ألبوكرك وسنتافي على امتداد ريو چراند–قرية سانديا، قرية سانت آنا، قرية سانتو دومينچو، سان فيليب،

كوكيتي، وهي عوالم صغيرة لها لغاتها الخاصة، وعلى غرار قرى التيوا إلى الشمال، تحدد مساكنُها الخاصة في الجبال السحرية أكوانَهم الذاتية. إن المشهد، في جزء من الرحلة، لا يشبه شيئاً آخر على الأرض. فبعيداً إلى الغرب، تمتد جبال جيميز نحو النهر بأصابع من طفح بركاني، تصلبت إلى مَيْسات سوداء مسطحة تبدو، ولنستخدم استعارة أخرى، كقواطع متجمدة من الحجر. إن الطريق الجانبية إلى سان فيليب، وهي قفير من بيوت اللبن تحجبها أشجار الحور المقوسة قبالة قاعدة واحدة من الميسات الأكبر، تميز نقطة منتصف المسافة في الرحلة إلى سنتافي. وبعد بضعة أميال، مباشرة بعد أن يعبر الطريق العام القناة المغبرَّة التي تعرف باسم نهر چاليستيو، يبدو للعيان جدار بركاني شاهق. وكان الأسبان يسمونه الباجادا "المنحدر،" مع أن المرء، عندما يقود سيارته صعوداً من ألبوكرك يواجه النقيض تماماً، حيث يفصل ارتفاع ثمانمئة قدم ريف نيومكسيكو الجنوبية عن نجود الشمال. حتى هذه النقطة، نجد الطريق العام مشقوقاً عبر ما دعاه رسامو الخرائط الاسبان ريو أباجو "النهر الأوطأ،" وهو الجزء من المملكة الشمالية الذي يُرسَم الأقرب إلى مكسيكو سيتي. وفي هذه الأيام، أيام الخيل والعربات، عُرِفَت الباجادا بخيانتها لمنعطفاتها الحادة–الثمن الذي يدفعه المرء لدخول مملكة أخرى: ريو أريبا "النهر الأعلى،" وهي منطقة واسعة بالكاد اكتُشفَت، تمتد شمال الباجادا ثم إلى خارج أعلى الخرائط.

من وجهة نظر ريو أريبانس، كانت تسمية الباجادا مناسبة. كان أفراد شعب سنتافي وما بعدها، الذين يربضون في مجثمهم على ارتفاع سبعة آلاف قدم فوق سطح البحر، ينظرون، حرفياً وأحياناً مجازياً، إلى جيرانهم تحتهم في ريو أباجو. ولولا صعود تدريجي للوصول إلى قمة حَدَبَة الباجادا، لكان يجب الترحلق مسافة ألفي قدم من سنتافي إلى ألبوكرك. لم يكن التغير تغيراً بسيطاً للجغرافيا. فالباجادا كانت، وما تزال، فاصلاً نفسياً وثقافياً. ومع أن نيومكسيكو الجنوبية لها نصيبها من الجبال، فإنها أرض صحراوية منبسطة إلى حد بعيد، يتطلب جمالها اللطيف قلب ذوّاقة وبصره. لا شيء لطيف هنا وهناك في طوبوغرافيا نيومكسيكو الشمالية. فما أن يتسلق المرء الباجادا، وهو يرى سانچر دو كريستوس أمامه مباشرة والبراكين المنحوتة المتماثلة ترتفع من كلا جانبي الطريق العام، حتى ينكشف ريو أريبا في كل مكان. فيعرف أنه في بلد آخر، حيث يبدو له أن الضوء أيضاً قد تغير.

إن السفر بين أرض المألوف وأرض الغريب ليس سهلاً. فكثيراً ما يتوجب على سائقي العربات الذين يصلون إلى الباجادا إسناد عجلاتها بالحجارة للحيلولة دون خضوعها لقوة تسمى الجاذبية. وكثيراً ما يتوجب على السيارات المتجهة في الطريق الأخرى أن تعود إلى أعلى الهضبة، ويزودها ترس الحركة العكسية بجهاز إضافي، عندما تحتج مشعّات غليانها ضد الحرارة. واليوم، جرى تسوية منعطفات لا حصر لها إلى صعود أكثر تدرجاً؛ فقلما تبطئ السيارات والشاحنات وهي تتسلق الفاصل. ولكن ما تزال مقيدة بقوانين الفيزياء نفسها التي ضبطت التأرجح في عصر الفاتحين. وبين حين وآخر، تدعو الحاجة إلى طاقة لعبور الفاصل.

في شهر مايس عام ١٩٨٩، سافر جواً إلى ألبوكيرك بضع عشرات من العلماء أكثرهم من الولايات المتحدة ولكن قلة منهم كانوا من بلدان بعيدة كألمانيا، وبريطانيا، وفرنسا، واليابان، وركبوا سيارات وحافلات أجرة مكوكية للسفر صعوداً إلى كمينو رِيَل. وبسيرهم بمحاذاة أكوان البويبلو، ارتقوا الباجادا، وصولاً إلى سنتافي من أجل

مؤتمر برعاية معهد سنتافي.[51] وقد تم عقد المؤتمر في بيئة مشهدية أعدتها كلية سانت جون التي تجثم عند ملتقى الغدران التي تنطلق بسرعة عبر التلال السفحية لجبال سانچر دو كريستوس. إذا قام المرء بنزهة على القدمين من كلية سانت جون عبر الوديان الضيقة ولمسافة ثلاثة أميال، فإنه سيصل إلى قمة أتالايا. ومعنى *أتالايا* هو "برج المراقبة،" وإذا وقف على مرتفعاته ونظر نزولاً إلى سنتافي وعبرها إلى لوس ألاموس، فإنه سيرى ما يمكن أن يكون أكبر تركيز للعلماء في العالم (الكثير غير مخول) الذين يعملون في حقل جديد يسمى فيزياء المعلومات، التي تقع على الحد حيث، كما يتراءى، يتصادم العقل والطبيعة، أي الموضوع والهدف.

من بعض النواحي، تبدو كلية سانت جون بيئة غير مناسبة لمؤتمر حول موضوع ثوري جداً كالمعلومات والفيزياء. فالمدرسة معروفة بمنهجها الدراسي التقليدي: الطلاب يتعلمون الفيزياء بدءاً بما قبل السقراطيين، ثم ينتقلون إلى أفكار أفلاطون وأرسطو. جاء علماء الفيزياء وعلماء الرياضيات إلى كلية سانت جون لدراسة الأفكار التي تقع على الحافة الحقيقية لعلم القرن العشرين. وقد استجابوا لبيان رسمي يحمل العنوان المثير "التعقيد، والأنتروبيا، وفيزياء المعلومات،" الذي أرسله ڤوجسيك هـ. زيورِك، وهو عالم فيزياء وُلِد في بولندا يعمل في جماعة الفيزياء الفلكية النظرية في المختبر الوطني في لوس ألاموس.

في بناء برج التجريد، يجب على المرء أن يبدأ بأساس، أي بتلك الأشياء التي تؤخذ كمسلَّمَة: الكتلة، الطاقة، المكان، الزمان. وبعدئذٍ، يمكن تعريف كل شيء آخر بلغة المبادئ الأساسية. ولكن خلال النصف الثاني من القرن، وبصورة تدريجية، انتهى بعض العلماء، وكان زيورِك من بين أكثرهم عناداً، إلى الاعتقاد بأن مقوماً أساسياً آخر كان ضرورياً لفهم الكون: المعلومات. وقد بدأ بيانه، "شبح المعلومات ينتاب العلماء." وكان يعتقد بأن هناك "منطقة حدِّيَّة،" حيث تلتقي المعلومات، والفيزياء، والتعقيد، ونظرية الكم، والحساب. وإذاً، على الرغم من كل شيء، لم تكن كلية سانت جون، من ناحية أخرى، بيئة غريبة جداً لمؤتمر. إن ما كان زيورِك وزملاؤه يفكرون به هو العودة إلى الأسس، أي التفكير من جديد بأعمدة الواقع بشكل شامل كما باشره طاليس، الذي كان يعتقد أن كل شيء خلق من ماء، وهِرَقليطس، الذي كان يعتقد أن كل شيء خلق من نار.

دأب أكثرنا على الاعتقاد بأن المعلومات شيء ما ثانوي، وليست أساسية، تتكون من مادة وطاقة. وسواء كنا نفكر بنقوش منحوتة في جرف صخري أو موجات كهرطيسية تشع من أجهزة إرسال فوق قمة سانديا، فإن المعلومات تبدو كاختراع من صنع البشر. فنحن نفرض النمط على المادة والطاقة ونستخدمه لكي نومئ لأترابنا البشر. ومع أن المعلومات تستخدم لوصف الكون، إلا أنها لا تُحسَب عادة بوصفها جزءاً من الكون نفسه. ولكن الكثير من أعضاء مؤتمر سنتافي يرون أن الكون لن يُفهَم ما لم يعترف البانتيون بالمعلومات، على قدم المساواة مع الكتلة والطاقة. وذهب بعضهم إلى أبعد من ذلك في محاولة لإثبات أن المعلومات يمكن أن تكون أساسية أكثر من كل شيء؛ إلى درجة يمكن، بطريقة ما، أن نستنتج الكتلة والطاقة من المعلومات.

أولاً، هناك الصلة الغامضة التي يتراءى أنها موجودة بين المعلومات، والطاقة، والأنتروبيا، أي كمية الاختلال في نظام ما. نتعلم في المدرسة أن أي نظام مغلق، إذا تُرِك وشأنه، فإنه سيصبح أكثر وأكثر اختلالاً؛ حيث

---

[51] بيان زيورِك والبحوث الأخرى التي ألقيت في المؤتمر، حررها زيورك نفسه في مجلد: Complexity, Entropy and the Physics of Information.

تزداد أنتروبياه. ونظراً لهذه الحقيقة، فإن الطبقات الجيولوجية الصافية المتضمنة في القانون الثاني للديناميكا الحرارية تتكتل في الصخر غير المنتظم لعصر ما قبل الكمبري. والهندسة المستوية لقرية طينية تتلاشى حتى بالكاد تُمَيَّز من التلال حولها. فعلى امتداد الطريق، يُجرَف النمط؛ وتضيع المعلومات. ويمكن اعتبار المعلومات بوصفها قياساً للاختلافات، وهي الوجود الأبسط ١ أو ٠، أي وجود أو غياب نوعية معينة. وبهذا المقياس، نجد في شيء ما منظم معلومات أكثر منها في فوضى متجانسة غير متميزة.

ومن ناحية أخرى، نستطيع، عن طريق جمع المعلومات ومعالجتها، خلق *نظام*–نستطيع أن نأخذ المادة والطاقة من عالمنا وننظمها إلى أغنيات، حضارات، دوامات هشة في تيار أنتروبي. وباستخدام قدراتنا، باعتبارنا معالجي معلومات، يمكن أن نكتشف أن بنى غير محتملة موجودة الآن–مياهاً محتجزة في بحيرة جبلية، وجزيئات كربون منظومة في سلسلة متطايرة، وبروتونات ونيوترونات مكدسة في كرة نووية مقلقلة. وعندئذٍ، نتركها ببساطة تتبع سبيلاً أقل مقاومة. وعندما تنقلب وتنتقل هابطة التل من نظام إلى اختلال، نستطيع أن نستخلص عملاً عن طريق لجم التدفق الأنتروبي. فتتفتت النوى، وتتفكك روابط ذرات الكربون، ويتدفق الماء من بحيرته إلى بحر غير منتظم. وتزداد الأنتروبيا، وتضيع المعلومات، ولكن الطاقة التي تنطلق في العملية يمكن إفراغها لبناء بنىً جديدة، لخلق معلومات، مع أن كل ما نخلقه يجب أن يخضع في النهاية إلى القانون الثاني.

لا عجب في أن ينحت العقل أنماطاً. فهي القدرة على اكتشاف نظام في العالم الذي يتيح لنا تحقيق الفائدة من موارده. وهذا سيكون مبرراً كافياً للكثير من العلماء للاعتقاد بأن المعلومات أساسية. ولكن، إذا تجاوزنا قوانين الديناميكا الحرارية، فإن البعض يعتقد بأن المعلومات تلعب أيضاً دوراً أعمق. ووفقاً لبعض تفسيرات نظرية الكم التي جمعها زيورِك وحلقته، فإنه دون معلومات لن يكون هناك موارد للاستثمار ولن يكون هناك من يستمثرها؛ وبالتالي لن يكون هناك شيء يشبه ما نسميه العالم الحقيقي. والرياضيات التي استخدمت لوصف العالم دون الذَّري تقول لنا إنه إذا تُرِك إلكترون وشأنه، فإنه يفقد الصفات الحقيقية التي نعتبرها، على هضابنا الماكروسكوبية، العلامة الحقيقية للوجود–موضعاً محدداً في الزمان والمكان. ويقال لنا إنه يوجد كموجة احتمالية، تراكب لكل المسارات الممكنة التي تستحوذ على مادة فقط عندما تُقاس، حين يقوم، كما يقال غالباً، مراقب بتقويض الموجة الاحتمالية. أما كيف يحدث هذا التحول فواحد من الأسرار الأكثر عمقاً للفيزياء، أي مشكلة القياس المعروفة: كيف يمكن للعالم الكلاسيكي الصخري المتصلب، الذي تحتل فيه الأشياء مواضع محددة في الزمان والمكان، أن يتبلر من سديم كمومي؟ في الماضي، اعتنق نظرية الكم غالباً من كانوا يريدون تقديم الذاتية على الموضوعية؛ الذين يؤيدون رؤية غامضة للعالم يحمل فيها الوعي الكون إلى الوجود. وبجعل المعلومات أساسية، أمل زيورِك وبعض زملائه أن يجردوا نظرية الكم من الغموض. فلماذا تكون الملاحظة فقط لجمع المعلومات؟ وإذا كانت المعلومات أساسية، فإنها، بالتأكيد، موجودة كالمادة والطاقة، دون الحاجة إلى كائنات واعية. فالموجة الكمومية يمكن أن تنهار لا لأنها كانت تُلاحظ من قبل عقل ما ولكن ببساطة لأن المعلومات تدفقت من مكان إلى آخر في العالم دون الذري.

من السهل طبعاً أن تخدعنا استعاراتنا الخاصة، فنصبح منبهرين جداً بأفكار نبتكرها إلى درجة يمكن معها أن نرى العالم فقط من خلال بهرجتها. فابتُكِرَت، في القرن التاسع عشر، الأنتروبيا وقوانين الديناميكا الحرارية

لتعميق فهمنا للمحرك البخاري وجعله فعالاً بقدر ما تسمح الطبيعة. إن أي جهاز مغلق، يُسَد بإحكام عن محيطه، سيسير حتماً من نظام إلى اختلال. وسرعان ما راح العلماء والفلاسفة يطبقون هذه الوسائل العقلية الجديدة على الكون نفسه، معلنين أن الكون، بوصفه مغلقاً أكثر من الأنظمة المغلقة–ماذا يمكن أن يكون خارجه؟–كان يسير بصورة حتمية نحو موت ديناميكي حراري،[52] وهي حالة توازن، موات، غير محددة، عشوائية. وفي القرن العشرين، ابتُكرَت نظرية المعلومات لمساعدة المهندسين على جعل قنوات الاتصالات الإلكترونية فعالة بقدر الإمكان. وقبل أن نعرفها، كان الناس يتحدثون عن المعلومات بوصفها واقعية، وذهب البعض إلى أبعد من ذلك، حيث تخيلوا أننا نعيش في كون حساب، خُلِق من تحول البتَّات.

كان أحد التحديات في بيان زيورِك هو اكتشاف طرق جديدة للتفكير حول ما إذا كان الحساب–وبالتالي المعلومات–طبيعية أو اصطناعية. فالحواسيب التي ركَّبناها طوال السنين أُبدعَت من أجزاء ماكروسكوبية: المسننات أولاً، ثم الصمامات الخوائية، ثم الترانزستورات، وبعدئذٍ شرائح منقوشة بآلاف الترانزستورات التي تُغلَّف أصغر فأصغر وأكثر كثافة كل سنة. ونطبع تصاميمنا على تصاميم الطبيعة، ومجموعات الدارات الكهربائية على شبكيات سِليكونية. ولكن كلما كانت تصاميم مهاراتنا أكثر دقة، فإنها تبدأ تتعارض أكثر مع الفيزياء تحتها. وتمزج العشوائية الكمومية الكوريوغرافيا[53] الأنيقة الخاصة بنا المؤلفة من واحدين وأصفار. ولكن عندما يتوصل المهندسون إلى مقاييس أصغر وأصغر، فربما يستطيعون بطريقة ما أن يستثمروا السلوك الطبيعي للذرة لجعل آلاتهم أكثر فعالية، لتجسير الفاصل بين مجموعات الدارات الكهربائية التي نصممها و"مجموعة الدارات الكهربائية" للطبيعة. إن ذرة مع إلكترون يستطيعان أن يكونا في واحدة من حالتين يمكن، بصورة طبيعية، اعتبارهما كسجل يحتوي واحداً أو صفراً. إلى أي مدى نستطيع أن نضيِّق الفجوة بين قوانين الحساب وقوانين الفيزياء؟ وإلى أين سينتهي القاع المتضيق؟ إذا أمكن أن يحدث الحساب فقط نزولاً إلى مقياس محدد، يتطلب مكونات مركبة من الكثير الكثير من الجزيئات، عندئذٍ ربما تكون المعلومات مجرد وسيلة بارعة، تالية لقوانين الفيزياء، نمط فرضه أشخاص أثناء كفاحهم لوصف العالم. ولكن إذا أمكن القول إن جزيئات وحتى ذرات منفردة تعالج المعلومات بطريقة ما، عندئذٍ ربما تكون الحسابات أساسية كما نعتبر قوانين الفيزياء. والمعلومات، كالكتلة والطاقة، لا يمكن إرجاعها إلى جذور الخلق.

بالنسبة للكثير من الأشخاص الذين تجمعوا في سنتافي للتحدث حول المعلومات، والديناميكا الحرارية، ونظرية الكم، كانت هذه أول زيارة لهم إلى نيومكسيكو الشمالية. وبعد سنة، انعقد مؤتمر آخر، هذه المرة في معهد سنتافي، واتخذ مقراً له ديراً قديماً بين الأروقة والبيوت الطينية على طريق كانيون، مع أن المؤتمر الأول، من بعض النواحي، لم يكن قد انتهى فعلاً. وطوال السنوات، اجتذبت فيزياء المعلومات التي بدأتها جماعة زيورِك في معهد سنتافي عدداً متغيراً من الزائرين. فكثيراً ما كان رالف لاندَر وتشارلز بِنِت، وهما أول شخصين قالا بعلاقة بين الفيزياء والمعلومات، يأتيان للزيارة من مركز بحث IBM لتوماس ج. واطسون في نيويورك. وفي

---

[52] -اتفق الكوزمولوجيون مؤخراً على أن الموت الحراري الحتمي للكون يمكن أن يكون خرافة. في حين سيستمر، في الواقع، تزايد الأنتروبيا، في كون يتوسع، وستزداد بسرعة أكبر الكمية القصوى من الأنتروبا التي يستطيع الكون أ يشملها. انظر الفصل الأول من The Origin of the Universe لـ John Barrow .

[53] -فن وصف الأقاليم ودراستها على الخرائط-المترجم.

معتزله في نيسوك، وهي قرية ريفية توفر ملاذاً لأولئك الذين يجدون حتى السرعة البطيئة في سنتافي مسعورة جداً، حاول موري جيلمان وضيفه الدائم جيمس هارتل، من جامعة كاليفورنيا في سنتا بربارة، استخدام المعلومات لفهم كوزمولوجيا الكم، التي يمكن فيها اعتبار كامل الكون كموجة احتمالية كمية.

عندما يستمع المرء إلى محاضرات العلماء هذه، ويقرأ أبحاثهم، ويتحدث إليهم شخصياً، على طعام أو في نزهات سيراً على الأقدام عبر الجبال، فإنه من الصعب ألا تلفت نظره تلميحات حتى إلى هدف أبعد لمجهوداتهم. وعلماء الفيزياء في سنتافي لم يكونوا ينجزون العلم حسب. ففي هذه الأرض حيث الكثير من الناس يرون الكون بطرق مختلفة كثيرة جداً، كانوا يدرسون الطبيعة الحقيقية للمشروع العلمي، هذا الدافع الفضولي الذي نحمله لجمع البتّات ونسجها في صور للعالم.

في الواقع، أصبح من الطبيعي، بالنسبة لبعض الزائرين الذين ينتقلون بالسيارات صعوداً إلى الباجادا لمناقشة أفكارهم مع زملاء في لوس ألاموس وسنتافي، أن يعتبروا المعلومات كالوقود الذي يحملهم إلى الفاصل، بالمعنى الحرفي تماماً لكلمة وقود. وأثناء واحد من مؤتمرات معهد سنتافي، صرح تشارلز بِنِت من IBM بأنه لو أعطي شريط ذاكرة بطول كافٍ–شريطاً أبيض لملئه بواحدين وأصفار–لكان امتلك كل الطاقة اللازمة لقيادة السيارة من ألبوكيرك إلى سنتافي. وبعد عدة سنوات، في مؤتمر في دلاس سمي "تكافل الفيزياء والمعلومات،"[٥٤] قال بِنِت إنه لا يستطيع أن يتذكر أنه أدلى بالتصريح، ولكن لا يعارض تصريحاً كهذا، حيث قال، "ذلك ما أؤمن به، يبدو بوضوح أن هذا ما أريد قوله."

وفكرة أن المعلومات والطاقة يمكن، بطريقة ما، أن تكونا متواشجتين، قد تبدو بالنسبة للجميع باستثناء حفنة من المبتدئين، عصية جداً على الفهم. ولكي نفهم ما يفكر به كل من زيورِك، وبِنِت، ولاندَر وزملائهم، يجب أن نغوص في طريقة ما للتفكير وتجزئة العالم الذي يمتلك أصوله في أواخر القرن التاسع عشر، عندما حاول جيمس ماكسويل أن يفتح ثغرة فيما كان يُظَن قانوناً كونياً لا يمكن اقتحامه. ففي عام ١٨٧١، بعد عدة سنوات من اختراع المعادلات التي تضفر الكهرباء والمغنطيسية، قدم ماكسويل إلى الملأ في كتابه *نظرية الحرارة* شيطاناً صغيراً خيالياً، سيلقب فيما بعد شيطان ماكسويل، الذي كان يبدو أنه يتمتع بالقدرة على التفكير في القانون الثاني للديناميكا الحرارية وتمحيصه.

من الصعب أن نتصور، في عصر الحاسوب، كم هو مبتذل أن يستطيع شيء ما، كالمحرك البخاري، إنجاز الكثير جداً لصياغة التفكير في القرن التاسع عشر. ويوماً ما، ربما سيبدو طريفاً تماماً استحواذ الحاسوب الرقمي على تفكيرنا. وفي تأمل كيف تهيأ لمحرك روبرت فولتون أن يتداخل بأقصى ما يمكن من القوة مع قوانين الطبيعة، مستخلصاً أقصى كمية عمل من البخار، استنتج سعدي كرنوت، وهو مهندس في الجيش الفرنسي، أنه، حتى مع جهوده القصوى، لم يستطع أبداً أن يتوقع الوصول إلى مردود ١٠٠%. فعندما نحول طاقة البخار إلى الطاقة اللازمة لتحريك دولاب، فإن بعضها سيتسرب بصورة حتمية ولا عكوسة. وقد تم التعبير عن هذه الحقيقة في شكل قانونين للديناميكا الحرارية. القانون الأول يمكن اعتباره كأنباء طيبة: يعلن أن الطاقة، في

-انعقد مؤتمر دالاس "تكافل الفيزياء والمعلومات" في تشرين الأول عام ١٩٩٢.[54]

الواقع، محفوظة، حتى أنه لا يمكن خلقها ولا إتلافها، ولكن فقط تتغير من شكل إلى آخر. ولكن القانون الثاني يقول لنا إن الطاقة تنحط كلما استخدمت: الطاقة الكامنة للمياه المختزنة خلف سد تتحول إلى طاقة حركية ثم إلى كهرباء عندما تندفع نزولاً إلى قناة التصريف وتدير أرياش التُّربين في المولِّد. وفي النهاية، يجب أن تتوازن الحسابات: الطاقة التي تخرج يجب أن تساوي الطاقة التي تدخل. ولكن ما كل طاقة للماء يمكن أن تتحول إلى كهرباء. فبعضها يتبدد في شكل حرارة–احتكاك جزيئات الماء التي تجيش نحو جزيئات الهواء ونحو بعضها بعضاً، احتكاك المحامل غير السوية على ريشات التربين، مقاومة الكهرباء في الأسلاك. وتمكث الطاقة المهدورة في مكان ما في المحيط، على شكل جسيمات مهتزة عشوائياً. ويمكن أن نتخيل طرقاً لإعادة احتجاز بعض من هذه الحركة العشوائية وتَقْنِيَتِها رجوعاً إلى النظام. ولكن لا يمكن أبداً استعادتها تماماً. ولولا هذه الخسارة، لاستطعنا استخدام مولِّد لتزويد محرك بالطاقة ثم استخدام المحرك لتدوير المولِّد وامتلاك مكنة حركية دائمة.

في برلين، اعترت دهشة شديدة رودولف كلاوزيوس لهذا التغير الحتمي من طاقة مفيدة إلى طاقة عقيمة أطلق عليها اسم: أنتروبيا. فمياه من وراء سد، وبخار مضغوط في حجيرة، ونابض ملفوف بإحكام، وبطارية مُنَحَّاة شحناتها السلبية من شحناتها الإيجابية–كلها تكون في حالات عالية التنظيم ويقال إنها تحمل أنتروبيا منخفضة. وعندما تنجز عملها، فإنها تخضع للتعشية. إن النظر إلى الأنتروبيا بهذه الطريقة، يجعلها مقياساً للاختلال، وما يقوله لنا القانون الثاني هو أن السير نحو العشوائية يكون حتمياً. ويمكن للمرء أن يخفض الأنتروبيا (يمكن ضخ الماء رجوعاً إلى أعلى الهضبة؛ ويمكن إعادة شحن بطارية مستنزفة، انقسمت من جديد أيوناتها السلبية والإيجابية المُجانَسَة بين القطبين)، ولكن فقط عن طريق إنفاق الطاقة. وهذا ينتج المزيد من الأنتروبيا. فأجهزة التبريد تعمل على تجميد الماء العديم الشكل إلى الأنساق البلّورية التي تدعى جليداً، ولكن عندما تفعل ذلك، فإنها تُرسَلُ إلى الغرفة حرارة، هي الاهتزازات العشوائية للجزيئات. وعلى المدى الطويل، فإن الأنتروبيا تربح دائماً. وجيوب النظام يجب أن تُعوَّض بالجيوب الأكبر للاختلال، والنظام ككل–الكون–يزداد بالأنتروبيا. ومن حسن الحظ أن نجد حولنا مخازن ضخمة لطاقة كامنة، أي النوابض الساعية الملفوفة من قبل–المواد الغذائية، الوقود الأحفوري، الأنهار، اليورانيوم. وبتركها تتدفق نزولاً إلى كدس الطاقة، يمكن أن نشغّل حضارتنا. والآن تتواصل إعادة شحن كامل النظام بواسطة الشمس. ولكن، هي أيضاً ستكف عن ذلك في النهاية.

هناك أيضاً قانون ثالث للديناميكا الحرارية، ذاك الذي يُصِر على أنه يستحيل الوصول إلى درجة الصفر المطلق، وهي درجة الحرارة التي تتوقف عندها كل حركة جزيئية. وهكذا، سيكون هناك دائماً حرارة في العالم، هي طاقة هذه الجزيئات التي تتحرك عشوائياً. ولكن وفقاً للقانون الثاني، فإن لجم هذه الحركة المتناثرة الكلية الوجود يتطلب عملاً أكبر مما يمكن ربما أن نكسبه من المحاولة. وبخلاف ذلك، فإن سياراتنا وأجهزتنا التطبيقية–في الواقع، الأشجار، الحيوانات، أي شيء يحتاج إلى قدرة–يمكن أن تدير نفسها، مزودة بلا شيء أكثر من هذا البحر الذي لا قرار له من الاهتزازات.

كانت نقلة راديكالية تماماً، عندما حاول ماكسويل، في تجربة فكرية، أن يبتكر طريقة لنقض القانون الثاني،

لإثبات أنه لو كان مخلوق ما ذكياً بما يكفي، لاستطاع خلق طاقة من هواء خفيف. وبدأ يتخيل إناء مقسوماً إلى حجرتين، تتصلان بمجرى أنبوبي. ولنفترض أننا وضعنا عائقاً في المجرى ثم ملأنا حجرة واحدة بغاز حار. ننزع العائق، فينتقل بسرعة الجهاز المنظم مبدئياً إلى حالة توازن، بحيث تكون الحرارة في جانب واحد ولا شيء منها في الجانب الآخر، حيث يمتلئ فيها كلا الجانبين بغاز درجة حرارته منخفضة ومنتظمة، هو امتداد متجانس للجزيئات التي تتحرك عشوائياً. نضع عجلة تغديف أو مكبساً في المسلك وسيَدَعُنا هذا الاندفاع إلى الاختلال ننجز العمل. ولكن عندما يكون الجهاز في حالة توازن حراري، والأنتروبيا في أقصاها، فإن القانون الثاني يقول لنا إنه ليست هناك طريقة لاستخراج أي عمل إضافي من الغاز. ويترتب علينا أن نضخه رجوعاً إلى حجرة واحدة، وذلك يتطلب طاقة.

ولكن ماكسويل تساءل لماذا لا نستطيع، بدلاً من ذلك، أن نضع مخلوقاً ذكياً صغيراً في وسط الجهاز لمراقبة حركات الجزيئات وتشغيل الصمام لكي تجتمع الجزيئات الأسرع في الحجرة أ، في حين تبقى الجزيئات الأبطأ في الحجرة ب؟ وعندما يأتي جزيء مسرعاً من الحجرة ب نحو الحجرة أ، فإن هذا الكائن " اليقظ جداً والأنيق الصورة"[55] سيفتح الصمام ويدعه يدخل. وسيغلق الصمام إذا شاهد جزيئاً سريعاً على وشك أن يفلت من الحجرة أ إلى الحجرة ب. وأكد ماكسويل بأن الشيطان، فقط باستخدام فطنته، سيتسبب في جعل درجة الحرارة في أ تتجاوز درجة الحرارة في ب؛ ويستطيع أن يراكم جهداً ويستخدمه في إنجاز العمل. يبدو أنه بالذكاء يستطيع المرء أن يتغلب على الأنتروبيا.

لم يكن ماكسويل مهتماً بصورة جدية ببناء آلة حركية أبدية. فإلى أين كان المرء سيذهب أخيراً لكي يجد واحداً من هؤلاء العبيد الصغار اللامتذمرين؟ كان غرضه أن يثبت أن القانون الثاني، على خلاف قوانين العلم التي اقترحت في الماضي، لم يكن مطلقاً بل إحصائياً؛ وأفضل ما يمكن قوله هو إنه يعمل في الغالبية الساحقة من الوقت. فحتى في جهاز دون شيطان أو صمام، هناك فرصة ضئيلة، إنما حقيقية، لمصادفة أن تجتمع الجزيئات السريعة في جانب والجزيئات البطيئة في الجانب الآخر. ولكن الأرجحية الكبيرة هي أن الحرارة ستنفد أيضاً: مقابل كل تراوح عرضي يضع جزيئاً سريعاً في الحجرة اليسارية، يمكن أن نتوقع أن يضع تموجٌ آخر جسيماً سريعاً في الحجرة اليمنى.

ومع ذلك، يمكن أن يحدث. فجزيئات الغاز المستقلة لا تعرف عن القانون الثاني والتدفق الوحيد الاتجاه نحو الأنتروبيا؛ وهي ببساطة تمتثل لقوانين الميكانيكا. ولا شيء في كتابة نيوتن يمنع إمكانية أن تقوم معظم الجزيئات، بعد فتح الصمام وتدفق الغاز من الحجرة أ إلى الحجرة ب، بعكس اتجاهها والتدفق رجوعاً إلى الحجرة الأولى. فيكون الجهاز قد أعيد إلى حالته الأصلية، التي توفر لنا العمل مجاناً. ولكن احتمال أن يحدث هذا ضئيل جداً إلى درجة يكون من الأفضل معها أن ننتظر هنا وهناك سرب يراعات لشرح رسائل في السماء بوضوح.

كتب ماكسويل مرة بأن المغزى هو أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية 'يتمتع بالدرجة نفسها من الحقيقة

---

[55] "الكائن "اليقظ جداً والأنيق الصورة": -هذا Maxwell's Demon لـ Leff و Rex.
الديناميكا الحرارية "تمتلك الدرجة نفسها من الحقيقة": المصدر السابق ٣٩.

كالتصريح بأنه إذا ألقى المرء ملء كأس من الماء في البحر، فإنه لن يستطيع سحب ملء الكأس نفسه من الماء مرة ثانية." ولكن من جديد، يمكن أن يحدث، إما عن طريق الصدفة أو حماسة المراقب، أن يقوم شيطان رشيق الأصابع بجمع الجسيمات من جديد وإعادتها إلى الكأس. وما بدا من أن الأنتروبيا كانت مقياساً للجهل؛ كان يتوقف على المراقب.

كان الشيطان وهماً. ولكن بين إدراكه الكامل ورشاقته وخَرَقِنا القصير النظر، يمكن للمرء أن يتصور مُتَّصَل المخلوقات التي تمتعت بقدرات مختلفة. والطبيعة تشبه نصاً وهذه الكائنات ستتفاوت في مقدرتها على فك رموز شيفرته، أو حتى على الظن بأن هناك أنماطاً يجب التنبؤ بها. وفي مقالة كتبها ماكسويل لطبعة *الموسوعة البريطانية* لعام ١٩٧٨، قارن الحالة بمحاولة قراءة مفكرة جيب مكتوبة بالاختزال الشخصي لصاحبها: "مفكرة،[٥٦] شريطة أن تكون قد كتبت بأناقة، لا تبدو مشوشة لشخص أمي أو لصاحبها الذي يفهمها بشكل تام، ولكن بالنسبة لأي شخص آخر قادر على قراءتها تبدو مشوشة إلى حد معقد. ومثلها فكرة الطاقة المتبددة، فإنها لن تظهر لكائن لا يستطيع أن يحول طاقات الطبيعة لفائدته الخاصة، أو لكائن يستطيع أن يتعقب حركة كل جزيء ويمسك به في اللحظة المناسبة. فقط الكائن في مرحلة متوسطة هو الذي يستطيع أن يمسك ببعض أشكال الطاقة في حين تروغ من قبضته أشكال أخرى، حتى ليبدو كأن الطاقة يجب أن تمر حتماً من حالة متاحة إلى حالة متبددة." والتضمين هو أن الأنتروبيا وُجِدَت بالنسبة للمخلوقات المعتدلة الذكاء، كالبشر، ولكن ليس بالنسبة للشياطين أو الكلاب-أي أن النظام والاختلال كانا في عين الناظر.

إذا كان القانون الثاني إحصائياً بالفعل، فإن أفضل طريقة لمعالجته هي رياضيات الإمكانية. وفي ضوء هذه الطريقة، تميل الأنظمة إلى الانتقال من حالات منتظمة (بعيدة الاحتمال) إلى مختلة (محتملة)، لأن الحالات المختلة أكثر بكثير. ليحاول أحدنا أن يتخيل طرقاً لا حصر لها استطاعت فيها جسيمات الغاز أن تنظم نفسها في إناء مغلق. ستبدو الجسيمات، في عدد ضئيل جداً من هذه التنظيمات، متعنقدة في زاوية أو أخرى، أو متنحية على شكل فقاعات مختلفة الأشكال؛ وفي حالات قليلة مفرطة التأنق، يمكن أن تنظم نفسها على شكل كرات أو مكعبات. ووفقاً لما يسميه علماء الإحصاء الفرضية الأرغودية ergodic hypothesis، فإن الغاز سيزور أخيراً كل واحد من تنظيماته المحتملة لأن جزيئاته تتجول عشوائياً عبر الحجرة، وأحدها لا يكون أكثر ميلاً من الآخر. ولكن، في الأكثرية الواسعة من التنظيمات المحتملة، ستشكل الجزيئات ما يبدو لعينين حسيرتين كمزيج عديم الشكل يشغل الحاوية بشكل منتظم.

في محرك ماكسويل، نبدأ بالجزيئات التي أُجبرَت على الدخول إلى تنظيم غير محتمل، وكلها تشغل الحجرة أ. وعندما نفتح الباب، فإنها تندفع لكي تتخذ واحداً من التنظيمات الأكثر احتمالاً إلى حد بعيد الذي يتوزع الغاز فيه بشكل منتظم في كل مكان من كلتا الحجرتين. وطريقة أخرى مثلاً هي أنه بفتح الباب نعطي للغاز المزيد من "درجات الحرية،" أي ضعف المجال للتجول.

يمكن أيضاً استخدام الاحتمال لتفسير الامتصاص الحتمي للطاقة من خلال الاحتكاك والأشكال الأخرى للتبدد. وأخيراً، تمثل البيئة عدداً ضخماً لا نهائياً أساسياً من درجات الحرية. وإذا حطمنا إناء ماكسويل، فإن

-"مفكرة لا ...": المصدر السابق، ص ٣٩.[56]

الجزيئات ستُقلِت، منتشرة على شكل مروحة عبر متاهة واسعة جداً وملتفه إلى درجة لن تجد معها أبداً طريق عودتها من جديد. وهكذا يحدث مع الحرارة التي ينتجها محرك أو أي نوع من آلة. وعندما يُسمَح للجزيئات الاهتزازية بأن تصطدم بجزيئات في القفر المكشوف للهواء، فإن الطاقة تسلك السبيل الأقل مقاومة، متدفقة بشكل لا يمكن معه استردادها إلى الوراء الواسع.

أثار الشيطان بين المفكرين الفيكتوريين رَدَيْ فعل شديدين، ذهب كلاهما إلى أبعد بكثير مما كان ماكسويل يقصده. فكانت فكرة أن الأنتروبيا ذاتيةً مزعجةٌ إلى حد خطير بالنسبة لأولئك الذين وجدوا عوناً في عقيدة الموضوعانيين القائلة إنه يمكن الوقوف خارج العالم ورؤيته كاملاً. فهل يمكن أن يكون القانون الثاني فعلاً ليس أكثر من ظاهرة شبيهة بالإنسان سبَّبها حسر بصرنا وخرقنا وحقيقة أننا أكبر بكثير من الجزيئات؟ ووجد آخرون التجربة الفكرية لماكسويل محرِّرَة وأعلنوا أن الذكاء قوة يمكن، بطريقة ما، أن تتغلب على قيود قانون الفيزياء، وهو عزاء ضد الفكرة الكئيبة لكون محكوم بزيادة الأنتروبيا. وعن طريق المراقبة الدقيقة للجزيئات والتحكم بها، يمكن لمخلوق (نظرياً على الأقل) أن يتغلب بالحيلة على القانون الثاني. فكان هناك شيء ما خاصٌ حول الحياة والعقل يروغ من المعادلات الباردة للفيزياء، أو هكذا شاء بعض الناس أن يعتقدوا.

وفي محاولة لتبديد هذا التفكير الرَّغبي، حاول بعض العلماء استئصال الفصوص الجبهية للشيطان لإظهار أن التناقض الظاهري عند ماكسويل سينشأ حتى مع نزع العقل من المزيج. لم يكن المرء بحاجة إلى أن يعمل بنشاط لتصنيف الجزيئات. واحتجوا بأنه يمكن التغلب على القانون الثاني بما ليس أكثر من باب وحيد الاتجاه؛ بحيث ينفتح مستسلماً عندما يصطدم به جسيم يسافر في اتجاه واحد، ولكن يبقى مغلقاً عندما يصطدم به جزيء قادم في الطريق الأخرى. وفي النهاية، ستتراكم جزيئات في جهة واحدة من الباب أكثر من الجهة الأخرى: طاقة مجانية. ومع أن ماكسويل وجد هذا مقنعاً، فإنه كان يهدف فقط إلى أن يُظهِر أن القانون الثاني هو قانون إحصائي، وليس لترقية الذكاء إلى عالم خارق. فكتب "أنا لا أفهم لماذا لا يمكن الاستغناء حتى عن الذكاء"[57] والشيء المصنوع آلياً." وأضاف فيما بعد: "هذا يحول الشيطان إلى صمام. هكذا قيَّمه. لم يعد يسميه شيطاناً بل صماماً.

ولكن كما تبيَّن فيما بعد، فإن ماكسويل تنازل بسهولة كبيرة عن الهدف. وفي عام ١٩١٢، أظهر الفيزيائي البولندي ماريان سمولوكوفسكي أن باباً مسحوراً صغيراً جداً بما يكفي للعمل كشيطان آلي سيمتص الحرارة ويهتز بشكل عنيف جداً إلى درجة سيكون معها غير فعال بكل ما تعنيه الكلمة. ولكن سلَّم بأن، "وسيلة كهذه يمكن أن تؤدي وظيفتها بانتظام إذا قامت بتشغيلها بشكل ملائم كائنات ذكية." فهل يمكن للفكر أن يتغلب على الأنتروبيا في نهاية الأمر؟

ادُّخِرَت الحجة في هذا العالم المظلم حتى عام ١٩٢٩، عندما تناولها ليو زيلارد، الفيزيائي الهنغاري المولد الذي سيكون فيما بعد مفيداً جداً في تأسيس مشروع منهاتن. فقد بدا عنوان بحثه، "حول تناقص الأنتروبيا في نظام ديناميكي حراري عن طريق ابتكار كائنات ذكية،" كمحاولة أخرى لرفع العقل فوق المادة. ولكن، في الواقع،

---

[57] -"لآ أفهم لماذا لا يمكن أيضاً الاستغناء عن الذكاء": المصدر السابق، ص ٤٣.
"أداة كهذه يمكن، ربما": المصدر السابق ص ١٢٥.

كان زيلارد يقصد أن يزيل غموض الشيطان باستبدال الفكرة الأثيرية للعقل بفكرة مادية أكثر لمعالجة المعلومات. وبفعله هذا، أبرز سلسلة من الحجج والحجج المضادة يمكن تعقبها خلال السنوات الستين التالية وصولاً إلى إعلان تشارلز بِنِت حول استخدام المعلومات لتسلق الباجادا واجتيازها.

ولبلورة حجته، حوَّل زيلارد جهاز ماكسويل إلى أبسط شكل ممكن: حجرة يهيم داخلها بصورة عشوائية جزيء غازي واحد. أولاً، سيقحم الشيطان حاجزاً يمكن تحريكه في وسط الحجرة. وبعدئذ، سيحدد المكان الذي سيكون فيه الجزيء، اليساري أو اليميني. وعن طريق تثبيت حبل وبكرة في الجانب المناسب للحاجز، يستطيع الشيطان أن يستخدمه كمكبس. وعندما يُدفَع الجزيء إلى الحاجز، فإنه سيسحب الحبل، ويدير البكرة، ويرفع وزناً. والآن، ستُختزَن الطاقة الكامنة في الوزن الذي يتأرجح فوق الأرض. وبإسقاطه على بلُّورة كهربائية إجهادية، التي تولِّد الكهرباء عند ضغطها، أو باستخدامه لسحب سير مربوط إلى متحرض المولِّد، يستطيع الشيطان أن ينجز العمل. ويستطيع أن يفك تقارن الوزن وينزع المكبس من الحجرة. وبإعادة الجهاز إلى حالته الأصلية، يستطيع الشيطان أن يكرر العملية، مبتدعاً، فيما يبدو، عملاً من لا شيء أكثر من قدرته على إدراك الجهة من الحاجز التي كان فيها الجزيء.

إلى هنا، يبدو هذا كأنه مجرد ترجمة لحكاية ماكسويل. ولكن زيلارد وصل إلى استنتاج مختلف تماماً. كان تقدمه المفاجئ لإدراك أن قياس الشيطان، الذي يحدد ما إذا كان الجزيء على الجانب الأيمن أو الأيسر، استلزم تنظيم سجل مزدوج، يسجل ما نسميه اليوم بِتَّ a bit معلومات، أي ١ أو ٠، أو جانباً أيمن أو أيسر. وبإجراء هذا القياس، الذي اقترحه زيلارد، استُهلِكَت حتماً كمية معينة من الطاقة–تكفي لضمان أن القانون الثاني لم يُنتهَك. وفي إعداد شيطان ماكسويل، أُجيز تقليدياً للمرء أن يفترض أشياء كالمكابس اللااحتكاكية إلى حد مثالي، والمبرر هو أنه ليس في قوانين الفيزياء ما يمنع المرء من الاقتراب من هذا المثل الأعلى بقدر ما تسمح به التكنولوجيا والذكاء. ولكن زيلارد اقترح ما يرقى إلى قيد تحتي. فقد لمَّح إلى أن العمل نفسه لجمع المعلومات يجب دائماً أن يبدد،[٥٨] على الأقل، ما يكفي من الطاقة لموازنة أي كسب في العمل وضمان أن ديمومة الحركة مستحيلة.

في المناقشات القديمة حول الشيطان، كان العقل يُعتبَر شيئاً مستقلاً عن المادة؛ وكان جوهراً يتمتع بقدرات مستقلة. وقبل بدء نظرية المعلومات وعلم الحواسيب بوقت طويل، ركز زيلارد المناقشة بإظهار أنه يمكن، على الأقل في هذه الحالة البسيطة، اعتبار الذكاء كـ بِتَّات معالجة. وبِتَّات المعالجة تستهلك طاقة. وفي بناء كاتدرائيات ذكائنا، يمكن أن نعتبر أنفسنا كمراقبين مستقلين، ولكن قدراتنا محدودة، وملاحظاتنا تتجذر في العالم الفيزيائي.

وكما سيعبر البعض عن ذلك فيما بعد، أظهر زيلارد أنه ليس هناك شيء من قبيل إدراك نقي. وقد استُكشفَت هذه الفكرة إلى حد أبعد في بحث نشره عام ١٩٥١ الفرنسي ليون بْرِيُّوَان[١]، الذي رأى أنه ليست هناك طريقة يقوم فيها الشيطان بتصنيف الجزيئات دون أن يراها–استخدام مصباح ومَّاض للفوتونات المرتدة من

[58] ليس واضحاً من بحث زيلارد ما إذا كان يتوقع، كما فعل بِنِت ولاندَر فيما بعد، أنه يجب دفع الثمن الديناميكي الحراري بمحو المعلومات وليس بجمعها.

الجسيمات إلى عينيه. ويحتج بْرِيُّوَان[59] بالقول إنه يمكن للمرء أن يتخيل جعل الشعاع أضعف وأضعف، ولكن، في نهاية المطاف، سيتوقف عند الشدة الأدنى. والغرفة، فضلاً عن ذلك، مملوءة بجزيئات اهتزازية. والإشارة التي كانت ضعيفة جداً لم يكن بالإمكان تمييزها من الضجيج المحيط. وفي العام نفسه، حسب الفيزيائي دينيس چابِر أنه عندما جُعِل الشعاع أضعف وأضعف، فإن تركيزه، لأسباب اللا يقينية الميكانيكية الكمومية، أصبح أصعب وأصعب. ونكرر القول إن المعنى المتضمن هو أن معالجة المعلومات تتطلب كمية أدنى من الطاقة.

ومع أنه قُدِّر لهذه الفكرة أن تخضع إلى تعديل مهم، فإن زيلارد، وبْرِيُّوَان، وچابِر، بمعنى أساسي، كانوا على الطريق الصحيح. فالمعلومات كانت تصبح أقل أثيرية، خياراً بين حالتين لنظام فيزيائي: جزيء إلى اليسار أو جزيء إلى اليمين. وفي استعادة الحوادث الماضية وتأملها، يمكن أن نفهم أن زيلارد أظهر أنه يصح فعلاً استبدال الشيطان بآلة، ولكن فقط إذا كانت الآلة معالج معلومات، حاسوباً من نوع ما. ويجب أن تكون الحواسيب موصولة بقابس إلى الجدار. والعمل الذي يكسبه الشيطان الإلكتروني بمعالجة المعلومات وخفض الأنتروبيا سيُوازن بالكيلوواطات الساعية التي يستهلكها؛ ولن يتم التخلص من الأنتروبيا، ولكن، على الأصح، ستُصَدَّر إلى البيئة—الحرارة التي تنتجها محطة التوليد والمقاومة في الأسلاك.

إن ما عرفه زيلارد بالبداهة عن المعلومات والأنتروبيا جعل كلود شانون أكثر صلابة ودقة. وشانون، الذي عمل لمصلحة مختبرات بِلّ، كان يدرس أفضل طريقة لترميز الإشارات لكي يمكن إرسالها دون أن تتشوش إلى حد العجز بالذبذبات الجزيئية العشوائية التي تسمى ضجيجاً. ومع أن شانون كان يتعامل مع خطوط الهاتف، لا مع محركات حرارية، فإن المسائل كانت هي نفسها كما في الديناميكا الحرارية. في كون محكوم بميل عنيد نحو الاختلال، كيف يمكن للمرء أن يحافظ على بناء وسط العشوائية؟ وأثمر بحث شانون مقالتين، نشرتا عام ١٩٤٨، استنتج فيهما تعبيراً رياضياً لكمية المعلومات في إشارة ما. وكما تبيَّن فيما بعد، فإن التعبير، بصورة أساسية، كان هو نفسه كالتعبير الذي استنتج في القرن السابق من أجل الأنتروبيا.

ولدى استعراض الأحداث الماضية، فإن هذه العلاقة لا تدعو إلى الدهشة. فقد أظهر شيتن وكولموچوروف فيما بعد أن الأعداد العشوائية اللا انضغاطية تمتلك محتوى من المعلومات الحسابية أعلى منه في الأعداد الانضغاطية الخاضعة لنظام—تتطلب برامج حاسوبية أطول للنطق بالأعداد العشوائية. ولكن العديد من أتباع شانون وجدوا بالبداهة أنه من المقنع أكثر وضعُ إشارة ناقص قبل التعبير عن المعلومات، مما يجعلها ضد الأنتروبيا. ويمكن القول إن نظاماً عالي التنظيم، خفيض الأنتروبيا يحتوي مستوى عالياً من المعلومات—اختلافات يمكن ترميزها بالبتّات. يُحتَجَز الغاز كله في الحجرة أ، ولا شيء في الحجرة ب. ولكن إذا فتحنا الصمام، فإن محتوى المعلومات ينقص عندما ترتفع الأنتروبيا. فماذا يستطيع المرء أن يقول بشأن مزيج عشوائي متجانس؟ إنه مزيج خامل دون ملاحظة اختلافات. وبما أن الأنظمة الخاضعة لنظام أقل احتمالاً من الأنظمة المختلة، فإن قياس شانون للمعلومات كان أحياناً يسمى معلومات إحصائية (كنقيض للمعلومات الخوارزمية عند

---

[59] كتابات بْرِيُّوان وچابِر، "شيطان ماكسويل لا يستطيع أن يعمل" و "الضوء والمعلومات،" تظهر أيضاً في مقتطفات Leff و Rex.
من أجل مثال لمحاولات التحايل على شيطان ماكسويل دون إدخال معلومات، انظر "EntropyK Information and Szilard's Paradox" لـ J. M. Jauch و J. G. Báron، جمعها Leff و Rex.

كولموچوروف وشيتن). وأحياناً، كان أيضاً يسمى أنتروبيا سلبية، أي نقيض الاختلال.

بما أن النظام العالي المعلومات، الخاضع لنظام هو جهاز نادر في المخطط العام للأشياء، فإن المعلومات أيضاً تسمى أحياناً قياس المفاجأة. فإذا قمنا بنزهة متسلقين جبلاً سيراً على الأقدام، فإنه سيجفلنا أن ننظر ونجد رأس سهم كاملاً عند قدمينا: يتضمن محتوى من المعلومات الإحصائية أعلى مما تتضمنه قطعة خشنة من الغرانيت. وإذا ضللنا الدرب، فإننا نبحث عن مَعْلَم–حجارة مكومة لكي تشكل رجمة. وكلما كانت الحجارة أكثر في الكومة، كان احتمال انهيارها أقل بتلك الطريقة من الصدفة. ومقدار التركيب يقع طبعاً في عين المشاهد– لنتذكر قصة ماكسويل حول المفكرة، أو لنفكر بالعالم الجزيئي المتاهي الذي ينفتح لأولئك الذين يستطيعون الرؤية إلى أبعد من سطح القطعة من الصخر. وهكذا عززت نظرية شانون الجديدة للمعلومات فكرة أنه كان هناك شيء ما ذاتي حول الأنتروبيا والنظام.

ومع أن التشابه بين التعبير الرياضي عن الأنتروبيا والتعبير الرياضي الذي استنتجه شانون عن المعلومات قد أثار فضول الكثير من العلماء، فإن تقديم هذا المفهوم المراوغ بوصفه واحدة من ذرات الخلق لم يَرُق للجميع. وشانون نفسه كان مرتاباً بالتفسيرات. فأن يقدم المهندسون مفهوماً يسمى معلومات لتحليل أنظمة من صنع الإنسان شيء، والادعاء بأن ذلك المفهوم جزء مهم من العالم الفيزيائي هو شيء مختلف تماماً. ولو تطلبت كلفة إنقاذ القانون الثاني التسليم بوجود عنصر ذاتي لإدراكنا للعشوائية والنظام، وهو المبدأ الأساسي الذي نجزِّئ بموجبه الكون، إذاً لما تطلع الكثير من الملحدين إلى جزء من التوازن.

كان التحدي المطروح عليهم هو إثبات أن ليس هناك، في الواقع، أية معلومات تطوف هنا وهناك في محرك زيلارد، أي أن سبب عجزه عن توليد حركة أبدية لم يكن ثمناً لمعالجة معلومات بل بحوثاً أكثر دنيوية، كالذبذبات الحرارية التي أحبطت الباب المسحور لسمولوكوفسكي. وباستبدال الشيطان بتنظيمات حاذقة لأجهزة الإحساس والأجهزة الميكانيكية الكهربائية لتعشيق المسننات والبكرات، حاولوا تصميم نسخة مؤتمتة لمحرك زيلارد الأحادي الجزيء لا حاجة فيه إلى اتخاذ قرار مزدوج–يسار أو يمين، أو ١ أو ٠. ولكن كما يفعل فاضحو أسرار الأعمال السحرية، فإن خصومهم استطاعوا مراراً إظهار أن هناك شيئاً ما محجوباً خلف الستارة؛ فالمعلومات كانت تترصد في شقوق الآلات. وعندما حاول أحدهم اختبار نظارت زيلارد الأرضية من جديد، كان من الصعب أن لا يرى البِتّات في كل مكان. فعند انتهاء دورة إحدى الآلات المؤتمتة، إذا تركنا ثقلاً يتدلى على كلا الجانبين الأيسر أو الأيمن للمكبس، أو نُقرَت عتلة بطريقة أو أخرى، فإن هذا كان يُعتبَر معلومات، أو ١ أو ٠. فالآلة لها ذاكرة مهما كانت بسيطة أو عتيقة– اختزنت بِتاً مثَّل الحالة التي كان الجزيء قد اتخذها سابقاً. ولكي يكرر المحرك دورته ويبقى شغالاً، كان يجب أن يعمل أحدهم أو شيء ما على إعادة ضبطه. أما كيف يتم ذلك، فيعتمد على واحدة من حالتين كان فيها، والثقل المتدلي، وطريقة استناد العتلة. كان يجب جمع المعلومات، واتخاذ قرار. وكان هذا يتضمن فكرة لن تظهر تماماً قبل دخول تشارلز بِنِت إلى الصورة عام ١٩٧٣: لم يكن ذلك جمعاً للمعلومات بل محوها–إعادة ضبط الجهاز –الذي يعمل بالضرورة على تبديد الطاقة وإنقاذ القانون الثاني. ومن هنا دخلت أخيراً إلى القصة فكرة صعود الباجادا بسيارة يزودها شريطُ ذاكرةٍ بالوقود.

في عام ١٩٦١، بدأ رالف لاندَر [60] من شركة IBM يفعل للحاسوب الرقمي كما فعل كارنوت للمحرك البخاري: اختبار أعماقه الديناميكية الحرارية. أثبت القانون الثاني أن الطبيعة تضع قيوداً على كيف يمكن أن تكون كفاءة آلة حرارية. فالمحركات البخارية لم تستطع أبداً أن تحوِّل ١٠٠% من حرارتها إلى طاقة لأن بعضها كان يتبدد بشكل لا يمكن تغييره في البيئة كحرارة. وعند إنجاز العمل، يجب دائماً أن تكون كمية ضئيلة من الطاقة قد ضاعت بشكل لا يمكن عكسه. كل شيء في قصة شيطان ماكسويل البطولية يوحي بأن الشيء نفسه يمكن أن يصح على العمل الذي نسميه حساباً. وتُرِك تثبيت الحجة للاندَر.

نُدخِل ٢ + ٢ إلى آلة حاسبة، ونضغط زر "يساوي،" فيُظهِر العرض العدد ٤. ولكن، إذا وجدنا آلة حاسبة تركها أحدهم على مقعد وتعرض الرقم ٤، فلن تكون لدينا وسيلة لمعرفة من أين جاء العدد. هل أدخل أحدهم ٢+٢، أو ٣+١، أو ١+١+١+١، أو ربما ٩-٥، أو ١٢٣٩٤٧٧-١٢٣٩٤٧٣؟ هناك عدد غير محدود للحسابات التي يمكن أن تعطي هذا الجواب نفسه. هذا الحساب لا عكوس. فلا نستطيع أن نعود من ٤ إلى ٢+٢. فالتعبير ٢+٢ يحتوي على معلومات أكثر من التعبير ٤-فائض يضيع عندما نكمل الحساب.

إلى أين تذهب المعلومات؟ أثبت لاندَر أنها تتبدد في البيئة كحرارة، ومن الصعب تجميعها ثانية كصعوبة جمع الاحتكاك الذي يولِّده التُّربين أو الجزيئات في كأس الماء الذي يتم إفراغه في البحر. ومضت حجته كما يلي: لنتذكر الجهاز في تجربة ماكسويل الفكرية الأصلية، بحجرتيها المتصلتين عن طريق صمام. فعندما أُطلِق الغاز من حدود الحجرة اليسرى، وبالتالي كان حراً لملء كامل الإناء، فإن الديناميكا الحرارية تقول لنا إنه يستهلك طاقة لضغطه رجوعاً إلى الحجرة الأولى. فنحن نشغِّل جهازاً يتمتع الآن بدرجات من الحرية أكثر بكثير-كل الطرق التي يمكن بها تنظيم الجزيئات في كل مكان من الحاوية بالكامل-والذي يضغطه رجوعاً إلى جهاز بدرجات أقل بكثير. ويصح الشيء نفسه على الآلة الحاسبة. فالمعلومات يجب تمثيلها بحالات فيزيائية، سواء كانت فولطيات في سلك أو مواضع خرزات على مِعداد. وفي آلة حاسبة إلكترونية، يتم تمثيل ٢+٢ بسلسلة من واحدين وأصفار التي يُحتجَز كل منها بواسطة ترانزستور يكون مفتوحاً أو مغلقاً. إذاً، إن كل واحدة من خلايا الذاكرة هذه تتمتع بدرجتين من الحرية؛ ويمكن أن تمثل إما ١ أو ٠. وصوَّر لاندَر أن محوها يقتضي ضغط الدرجتين رجوعاً إلى درجة واحدة: خلية ذاكرة يمكن فقط أن تكون فارغة. وذلك يتطلب، كما هي الحال مع الغاز، كمية ضئيلة من الطاقة. فعندما يتحرك حاسوب رقمي بعنف خلال سلسلة طويلة من الحسابات، منظفاً السجلات لكي يمكن ملؤها مراراً، فإن الآلة تبدد المعلومات، مع طرح الحرارة في البيئة.

إن الطاقة التي تضيع من تنظيف سجلات الذاكرة، في الحواسيب التي نركبُّها، غير مهمة مقارنة بالطاقة التي تستهلكها المقاومة في الوصلات، أو الأسلاك الدقيقة التي تضيء عرض الفيديو، أو المحرك الذي يدير سواقة الأقراص. ومع ذلك، فإن هذه الخسارات منوطة بالتقنية المستخدمة؛ وفي النظرية، يمكن جعلها ضئيلة بقدر ما نريد. ولكن يبدو أن الطبيعة تضع قيداً على كم هي ضئيلة الكلفة التي يمكن بها أن نمحو البِتَّات. فالخسارة لا يمكن إنقاصها إلى أدنى من مستوى معين. وقد حاول لاندَر أن يثبت أن المعلومات فيزيائية في

---

[60] وقد استكشفت Rex و Leff عند "irreversibility and Heat Generation in Computing Process," -عمل لاندَر موصوف في بحثه . أفكاره وأفكار بِنِت في Three Scientists and Their Gods لـ Wright.

الواقع.

ولكن القصة لم تنته عند هذا الحد. فبعد أكثر من عقد بقليل، اصطدم زميل لاندَر، تشارلز بِنِت،[61] بواحد من تلك الأسئلة البسيطة والعميقة في آن معاً: ماذا لو لم نمحُ؟ لنتصور أن الحاسوب ادخر نتيجة متوسطة في كل مرة أجرى فيها حساباً. بما أن الآلة تصفحت سلسلة من الحسابات، فإنها ستكدس شريطاً لتاريخها هي. وستأتي بجواب دون أن تضيع المعلومات. هاها! يمكن أن نفكر. هنا يتوجب دفع الكلفة الديناميكية الحرارية: يجب محو شريط هذه المراحل الوسيطة كلها لفسح المجال للمزيد. ولكن، لا! فقد أثبت بِنِت أنه أمكن إعادة ضبط الآلة ببساطة بتدوير الشريط رجوعاً، مستعيداً تاريخه الحسابي حتى أصبح في حالته الأصلية. فالحساب هو مجرد تحويل دخل (السؤال) إلى خرج (الجواب) وفقاً لمجموعة من القواعد. وهذا عادة تدفق وحيد الاتجاه–من العدد المعلوم ٤، لا نستطيع أن نستنتج استثنائياً ٢+٢. ولكن، بواسطة حاسوب عكوس، نحصل على المعلومات الإضافية اللازمة لتحويل الخرج رجوعاً إلى دخل. ولماذا يتطلب الذهاب من خرج إلى دخل أيّما طاقة أكثر من الذهاب من دخل إلى خرج؟ هناك ضرر جسيم طبعاً هو أن الجواب سوف يضيع في عملية عكس الحساب. ولكن بِنِت بيّن أنه، قبل أن ندفع الآلة إلى العكس، استطعنا أن ننسخ الجواب على شريط فارغ. والنسخ، على خلاف المحو، لا يسبب كلفة دنيا من الطاقة.

ومع أن آلة كهذه ستبدد طاقة من طريق المقاومة الكهربائية، وأزيز محركات الأقراص، وتوهج شاشات الفيديو، فإن العمل الفعلي للحساب يمكن إنجازه دون كلفة دنيا من الطاقة. ومع أن محو المعلومات يتطلب كمية من الطاقة التي يستحيل أن يعمل بأقل منها، فإن الحساب، على العكس، يمكن أن يكشف عن استخدام كمية من العمل ضئيلة إلى حد اعتباطي. وفي الواقع، صمم بِنِت حاسوباً افتراضياً زُوِّد بالقدرة من لا شيء أكثر من الحركة البْراونيَّة، وهي الذبذبة الحرارية الطبيعية للجسيمات. ومع أنه لا يمكن استخدام هذا الخزان الحراري اللانهائي لتزويد آلة حركة أبدية بالقدرة، فإنه يمكن ظاهرياً بزله لإنجاز الحسابات، ما دام لدينا واحد من هذه الحواسيب العكوسة الدقيقة التصميم.

يعتقد بعض العلماء، كإدوارد فْريدْكِن من جامعة بوسطن، بأن الإمكانية الحسابية العكوسة تتضمن أن المعلومات أساسية أكثر من المادة والطاقة، لا يقيدها القانون الثاني. ويتخيل طبقة مختبئة تحت ما يعتبر اليوم قوانين الفيزياء، حيث يسبب اختلاط البِتَّات بطريقة ما وجود العالم الذي نراه. والمعنى المتضمن طبعاً هو أن الواقع نوع ما من محاكاة. والسؤال عما يسيِّر المحاكاة أو لماذا تترك كتمرين للقارئ. بذل فْريدْكِن جهداً لإعادة صياغة قوانين الفيزياء في شكل حساب لهذه الآلة الافتراضية، التي تجزئ العالم بطريقة مختلفة تماماً. ولكن العمل الذي أنجز في هذا الاتجاه كان ضئيلاً.

اعتبر معظم العلماء في العالم الصغير لفيزياء المعلومات عمل بِنِت كتوسيع لمبدأ لاندَر أكثر منه تناقضاً. فقد عزز بِنِت فكرة أن محو المعلومات، لا جمعها، هو الذي يعمل بالضرورة على تبديد الطاقة. فالشيطان يمكن أن يجعل كل قياس يستهلك كمية قليلة من الطاقة بشكل كيفي. ولكن قبل أن يعمل–فتح الباب المسحور أو

[61] إدراك بِنِت الحاسم حول العكوسية والمحو وصفت في أبحاثه: Logical Reversibility of Computation، وThe thermodynamics of Computation-A Review، و Notes on the History of reversible Computation، وكلها مجموعة بشكل مناسب عند Leff و Rex.

إغلاقه–يجب أن يختزن نتيجة القياس في ذاكرته. والقانون الثاني سيضبط مكسه بعد محو البِتّات، لأن ذلك سيتطب طاقة، على الأقل بقدر العمل الذي أنتجه المحرك. وهناك طريقة أخرى للنظر إليه هي أنه عندما يخفض الشيطان أنتروبيا الغاز، مما يسبب ترتيباً أكثر انتظاماً للجزيئات، فإنه يُفَنّي العشوائية كلها إلى ذاكرته، مما يشوش دماغه. أو، إذا قسَّمنا الجهاز إلى أجزاء أصغر على نحو مختلف قليلاً، عندئذٍ يمكن اعتبار الذاكرة جزءاً من المحيط. وهكذا نعود إلى القول إن خلق نظام في مكان ما يقتضي تصدير الأنتروبيا إلى مكان آخر.

ولكن، نسأل من جديد: ماذا إذا لم نَمْحُ؟ وإليكم ما كان يفكر فيه بِنِت في ذلك اليوم في سنتافي. نستطيع أن نصنع ذاكرة ضخمة بقدر ما نريد. ولنتخيلها كشريط طويل. يستطيع الشيطان أن يواصل تعبئته بالبِتّات ويؤجل المحو إلى ما لا نهاية. نثبت الشيطان ومحركه إلى عجلات ونستطيع أن نقود السيارة نزولاً ١–٢٥، وصعوداً وفوق الباجادا، ورجوعاً إلى مطار ألبوكيرك، نافثين بخاراً من واحدين وأصفار طوال الطريق.

لا شيء غامض حول هذه الطريقة المختلفة بحدة لتجزئة العالم الفيزيائي. فمحرك بِنِت، كأي شيء آخر، غاص في حمأة قوانين الديناميكا الحرارية. ولن يجد المرء شريطاً فارغاً للذاكرة يمكث هنا وهناك في العالم بانتظار أن يُستخدَم كوقود. حالته، أصفار كلها، مستحيلة، أي بعيدة الاحتمال بوصفها غازاً يمكث فقط في الجهة اليسرى من حاوية. وخلق هذا النظام يتطلب عملاً. وبعدئذٍ، يمكن استثمار العمل بجعل الشريط يهبط هضبة المعلومات، من النظام إلى العشوائية، تماماً كما تهبط الطاقة خلف سد، أو تختزن بين قطبي بطارية، هضبة الأنتروبيا.[62]

إذا تأملنا هذه الطريقة، لن نجد مبرراً لماذا لا يمكن اعتبار البطارية كشريط ذاكرة. فهي تبدأ بحالة فارغة منظمة (شحنات إيجابية على قطب، وشحنات سلبية على القطب الآخر) وتُعَشّى عندما تتوقف عن العمل. فعندما تُستهلَك البطارية، فإن إعادة ترتيب جزيئاتها هي ذاكرة–تاريخ استعمالها. وهذا السجل يُمحى بإعادة الشحن. وتُفصَل من جديد شحناتها الإيجابية والسلبية، ويستعاد النظام، ويعاد ضبط الجهاز. ولكن جهاز شحن البطارية يبدد حرارة، ناقلاً العشوائية إلى المحيط، لكي يملأها ببِتّات مختلطة. وفي الواقع، يمكن أن نعتبر الكون كشريط ذاكرة، فارغ ومنظم. وعندما يتحول هذا النظام كله إلى أنتروبيا، فإن شريط الذاكرة الكوني يُملأ ببِتّات عشوائية. ولكن لا يمكن أبداً محوه. فلا شيء يمحوه، وليس هناك مكان تُصدَّر العشوائية إليه. ونحن لا نستطيع إعادة ضبط الكون. والعشوائية فقط تواصل تراكمها. وتلك هي نسخة المعلومات للقانون الثاني.

اعتبر ماكسويل الأنتروبيا ذاتية تماماً واستنتج أنه كلما كان مخلوق ذكياً أكثر، كان أكبر العمل الذي يستخرجه من مصدر للوقود. وخطا زيلارد أول خطوة نحو إزالة الغموض عن هذه الفكرة. ولكن التوازن فرض عليه أن يعمل على ترقية المعلومات، التي يعتبرها معظمنا شيئاً ذاتياً ومن صنع الإنسان، إلى العالم الموضوعي.

ومع أن الذكاء لا يسمح لنا بالتغلب على القانون الثاني، فإنه يبقى صحيحاً أن المخلوقات التي تتمتع بحواس

-احتج بعض العلماء بأن كوناً متذبذباً-كوناً يدور من انفجار كبير إلى انسحاق كبير ورجوعاً من جديد إلى انفجار كبير-سيُضبَط، في الواقع، مع كل [62] تجسد. ولكن دورتنا الخاصة ستبقى محكومة بزادة الأنتروبيا.

أكثر حدة وأدمغة أكثر قدرة سترى نموذجاً حيث يرى الآخرون عشوائية. فكيف يمكن أن يكون لدينا عِلْمٌ إذا نظر كل واحد إلى النظام نفسه، اعتماداً على قدراته، ورأى أنتروبيا مختلفة، أي نظاماً مختلفاً؟ وأظهر زيورِك[63] أنه يمكن أن نتفادى هذه المشكلة إذا أشهرنا مبضعنا الأونطولوجي وشَرَطْنا العالم بطريقة أخرى إلى نوعين من الأنتروبيا.

يعتمد تقسيم زيورِك على فكرة أن هناك نوعين من المعلومات. أولاً، هناك معلومات شانون، التي تقيس إلى أي مدى تكون بنية ما مستحيلة: نظام مُنَمَّط إلى حد معقد يكون بعيد الاحتمال بدرجة عالية، وهكذا يمكن القول إنه يحتوي على قدر كبير من المعلومات. ولكن هناك أيضاً طريقة شيتن وكولموجروف للنظر إلى الحالة، باستخدام معلومات حسابية. ومن هذا المنظور المعاكس، فإن نظاماً عالي التنميط، قابلاً للانضغاط يحتاج وصفه إلى بِتَّات أقل مما يحتاجه نظام عشوائي. فإذا كانت جزيئات الغاز كلها في الحجرة أ، فإن شريط الذاكرة لدى شيطاننا يمكن أن يشير إلى ١١١١١١١١١١١١١١١١١١١١١١١١١... ويمكن اختزال هذا إلى حساب بسيط: "كرِّر '١' عشرة بلايين مرة." ومن ناحية أخرى، عندما نفتح الصمام، ونسمح لكل الجزيئات بالدخول إلى كامل الوعاء لكي تتوزع عشوائياً، فإن الطريقة الوحيدة لوصف حالة النظام تكون بتعيين أين يكون كل جزيء. وبالتعريف، لا يمكن اختزال هذه السلسلة العشوائية من الواحدين والأصفار إلى حساب أقصر، فهي غير قابلة للانضغط.

اقترح زيورِك أن نعرِّف ما يسميه أنتروبيا فيزيائية بوصفها تتألف من كميتين تبادليتين: جهل المراقب، الذي قيس بأنتروبيا شانون الإحصائية، وعشوائية الهدف المُراقَب، الذي قيس بأنتروبياه الحسابية–العدد الأصغر من البِتَّات التي يأخذها لكي يسجلها في ذاكرته. إن جمال هذا التفسير هو أنه، أثناء القياسات، ينقص جهل القائس لأن شريط ذاكرته يصبح أطول–هكذا مجموعها، أي الأنتروبيا الفيزيائية، يبقى هو نفسه.

يمكن أن يختلف شياطين آخرون يتمتعون بقدرات مرهفة مختلفة للملاحظة حول ما يحتويه نظام ما من نظام أو أنتروبيا. فكلما قيس شيء ما بدقة أكبر، فإنه يمكن أن يبدو عشوائياً وأنتروبياً بدرجة أقل. ولكن كلما كانت القياسات أكثر دقة، فإن دماغ الشيطان سيصبح أكثر تشوشاً. وإذا تناولناهما معاً، فإن كلا نوعي الأنتروبيا يتوازنان، إلى حد أن الأنتروبيا الفيزيائية لكامل النظام تبقى، من وجهة نظر مراقب خارجي ينظر إلى الداخل، هي نفسها.

إن الدرس المهم الذي يجب أن نستخلصه من كل هذا هو أن القائس يجب أن يُضَمَّن كجزء من النظام. فتكون النتيجة لا شيء أكثر من قانون لحفظ المعلومات، الذي أراد زيورِك أن يراه قائماً جنباً إلى جنب مع حفظ الطاقة وحفظ كمية الحركة كالأعمدة التي يقوم عليها العلم.

هناك خاتمة نهائية لقصة الشيطان. إذا نظرنا إلى الوراء، إلى مسيرة الأفكار التي بدأت بماكسويل، فإنه يمكن رؤية أن المدخل للتخلص من الشيطان كان استبداله بمعالج معلومات، أي مشعوذ بِتَّات. وفي هذه الحال لا يحتاج قياس الجزيئات وتحديد وقت فتح الباب المسحور إلى الكثير من الذكاء. ولكن، في كل التجارب

---

[63] فكرة زيورِك عن الأنتروبيا الفيزيائية قُدمت في بحثه -Algorithmic Randomness and Physical Entropy الذي نجده في Physical Review A 40 (1989): 4731-51 .

الفكرية، أمكن صنع الشياطين من أجزاء إلكترونية بكلفة بضعة دولارات.

وبدأ زيورِك يتساءل: ولكن ماذا لو كان الشيطان *ذكياً فعلاً*؟[٦٤] ولنفترض، مثلاً، أن شريط ذاكرته سجل، أثناء مراقبة موضع الجزيئات، سلسلة تتضمن هذه المتتالية:١٠٠١٠٠١٠٠١٠٠١٠٠١٠٠١٠٠١٠٠١٠٠.. والآن، ومع بعض الحسابات البسيطة لتمييز النموذج، استطاع الشيطان أن يلاحظ التناسقات. يمكن استبدال السلسلة الأولى بحساب يقول "كرِّر '١٠٠' تسع مرات." أو لنفترض جزءاً من سلسلة يتضمن المتتالية: ١١١١١١١١١١١١١١١١١، التي يمكن استبدالها بـ "كرِّر '١' سبع عشرة مرة." فتكون الحسابات أقصر بكثير من السلسلة. وبعد أن يقوم شيطان ذكي بما يكفي (يستخدم حاسوباً عكوساً لكي لا تُستهلَك طاقة) بإجراء قياساته، فإنه يمكن أن يضغط ذاكرته. فتصبح الرموز التي سيمحوها أقل، وكذلك الطاقة المبددة. وعندئذٍ، سيدفع أقل من ثمن ديناميكي حراري كامل. ولكن، لا يمكن ضغط متتاليات عشوائية بكل معنى الكلمة. أما إذا كانت هناك جيوب من الانتظام، عندئذٍ يمكن ضغط السلسلة إلى حد أقصر. (من حيث الجوهر، هذا ما يفعله برنامج المضاعِف القرصي عندما يضغط المعلومات على قرص صلب في حاسوب لكي يشغل مجالاً أقل.) إن بعض المتتاليات التي تبدو عشوائية، يمكن أن تحتوي على نظام محجوب. فإذا كان الشيطان ذكياً فعلاً–وهنا سننتهك عالم الذكاء الاصطناعي–فإنه يمكن أن يلاحظ الجزء من شريط الذاكرة الذي يمثله توسيع عشري للجذر التربيعي لـ ٢ أو لـ π.

فضلاً عن ذلك، هل كان هناك شيء ما يتجاوز نطاق الخبرة البشرية بخصوص الذكاء؟ وهل يمكن أن تكون لشيطان ذكي إلى هذا الحد أفضلية على القانون الثاني، حيث فشل شيطان أكثر غباء؟ زيورِك، لم يكن يتوقع هذا.

أظهر شيتن أنه يستحيل إثبات ما إذا كان عدد خاص عشوائياً أم لا، أي ما إذا كان انضغاطٌ ما هو الأكثر إيجازاً–يحتمل دائماً أن يكون هناك نظام أكثر يمكن استخراجه. والشيطان لا يمكن أبداً أن يعرف إذا كان قد جعل شريط ذاكرته مدمَّجاً بقدر الإمكان. ولكن لا يتوجب عليه أن يكتشف الوصف الأكثر إيجازاً. إن أي شيء يقلل بدرجة مهمة الأعداد التي يجب محوها سيوفر طاقة. والسؤال هو ما إذا تمكن الانضغاط من توفير الكثير جداً من البِتّات إلى حد يستطيع معه شيطان ذكي جداً أن يستخرج عملاً من النظام أكثر مما يُدخِلُه فيه. ولكن مرة أخرى أُنقِذَ القانون الثاني. فقد أظهر زيورِك أن نظرية المعلومات لشانون وقوانين الحساب وضعتا قيداً على قابلية الانضغاط. ومع ذلك، يجب أن يتضمن الوصف الأكثر إيجازاً لرسالة، على الأقل، بقدر ما كانت تتضمنه الرسالة الأصلية. فشريط ذاكرة الشيطان يمكن اعتباره كمستقبل لرسالة مصدرها نموذج جزيئات الغاز. وهذه المعلومات بالذات هي التي تسمح للشيطان بمعالجة الجزيئات لخفض الأنتروبيا. ولكن، على الرغم من أن "الرسالة" يمكن أن تكون قابلة للانضغاط، فإن كل ما يُستخرَج هي معلومات فائضة لا تسهم في نجاح الشيطان. وفي النهاية، عندما يمحو الشيطان ذاكرته، فإنه لا يستطيع أن يطرح أية معلومات أقل مما كان يحتاجه لتشغيل المحرك. وانضغاط شريط الذاكرة سيجعل الشيطان أكثر كفاية، وإذا كان المرء محظوظاً بما يكفي للعثور على

---

[64] ورد وصف شيطان زيورِك الفائق الذكاء، الذي، مع ذلك، لا يستطيع التغلب على القانون الثاني، في بحثه Thermodynamic Cost of Computation, Algorithmic Complexity, and the information Metric، الذي نشر في Nature. ٣٤١ (١٩٨٩)، ١١٩-٢٤.

الوصف الأكثر إيجازاً، عندئذٍ سيبلغ المحرك فعالية قصوى مستهلكاً من الطاقة بقدر ما ولَّد منها. ولكن زيورِك أظهر أن أفضل ما يمكن أن يفعله المحرك هو أن يكون لا رابحاً ولا خاسراً. فيمكن أن يولِّد من الطاقة فقط بقدر ما يحتاجه لمحو ذاكرته.

يمكن أن نرهق حدسنا باعتبار البطاريات كخزانات معلومات وأشرطة الذاكرة كوقود. ونحن نعتبر المادة والطاقة كأساسيات–يمكن أن نشعر بثقل صخرة أو صدمة كهرباء. فالمعلومات تبدو ذاتية. ومع ذلك، لماذا يجب أن يكون ما نعرفه عن طريق أجسادنا أساسياً أكثر مما نعرفه عن طريق أدمغتنا؟ وفي النهاية، نحن نعرف عن المادة والطاقة فقط بواسطة الإشارات التي ترسلها حواسنا–أعيننا، وآذاننا، وأنوفنا، والمستقبلات في جلدنا. وينتهي الكل إلى معلومات. ومع ذلك، فإن هذه المعلومات هي مجرد مادة وطاقة–أيونات مشحونة تحمل إشارات كيميائية كهربائية خلال أجهزتنا العصبية. وأظهر لاندَر وبنِت القيود التي تفرضها الفيزياء على الحساب؛ وأظهر زيورِك أن قوانين الحساب–القيود القابلة للانضغاط–تحمل مضامين للفزياء. وهكذا تدور الحلقة.

بوصفه واحداً من المُشيطِنين الأوائل في العالم، يجد زيورِك نفسه أحياناً متماهياً مع المخلوق الصغير لماكسويل. فالغاز في الحجرة، بالنسبة للشيطان، هو الكون؛ وبحثه لاكتشاف نظام مخفي يشبه البحث العلمي لاكتشاف قوانين كونية. نحن نقلل جهلنا بواسطة القياس، ولكن فقط بكلفة هذا الاستنزاف المعلوماتي. فإذا كان هناك مقدار ضئيل من النظام في الكون، أي إذا كان في حالة توازن كالغاز، عندئذٍ سنقوم ببساطة بتَقْنِيَة العشوائية تامة إلى شريط ذاكرتنا–مكتبة المعرفة العلمية. ولن نكون أفضل حالاً من الشيطان، الذي يقيس ويقيس لكن لا ينجح أبداً. ونحن نستطيع أن نجمع بتَّات وبِتَّات من البيانات، ولكن لا نستطيع أن نضغطها في أشكال أكثر تدمُّجاً. وهي العبارات البليغة التي نسميها قوانين كونية. وسيُحوَّل العلم إلى فهرسة كل حقيقة حول كل جسيم. وسيكون الكون، كسلسلة عشوائية، هو وصفه الأقصر.

إن كوناً عشوائياً تماماً، لن يكون فيه إطلاقاً جامعو معلومات. فلن تكون هناك بنية. ويبدو وجودنا الحقيقي كبرهان على أن الكون الذي نعيش فيه أبعد ما يكون عن التوازن. هناك نظام يجب استثماره، أي انضغاط يتوجب إجراؤه. وهكذا يدفع إلى القياس، كما يقول زيورِك.

الفصل الخامس

العالم اللاحتمي

أطلق قاطنو ريو أريبا الأسبان على جبالهم الجرانيتية اسم جبال سانجر دو كريستوس [دم المسيح]، متأثرين بالوهج الدموي الذي ترسله الصخور الجرانيتية عندما ينزلق ضوء الشمس عن صخورها الجرانيتية، حتى ليبدو وكأنه يضرم النار في تلك الجبال، وهو ضوء في غاية النقاء والانتظام إلى حد ربما أغرى عالم فيزياء من القرن التاسع عشر إلى الاعتقاد بأن ذلك الضوء هو إشعاع ينبعث من جسم أسود، حتى لكأن الصخور نفسها كانت حارة وتشع من الداخل. وجبال ألبوكيرك أيضاً سميت "ساندياس،" وهو اسم البطيخ الأحمر في اللغة الأسبانية، لأنها تَحْمَرُّ مع هبوط الليل.

تبعثرت الفوتونات من الشمس بواسطة الإلكترونات في الغرانيت. وعلى الرغم من الحديث عن مجموعة الجزيئات المحتجزة داخل نوى الذرات، فإن الكون الذي نخبُرُه بصورة مباشرة يولد تقريباً بصورة كلية من خلال مسرحية الإلكترونات والفوتونات، وهي رقصة تُنسَّق خطواتها في واحد من الإنجازات الفائقة للعلم في القرن العشرين، أي النظرية التي تسمى الكهرديناميكا الكمومية، أو QED.[٦٥] إن هذه النظرية تتجاهل الجاذبية وتتوقف قبل الحد النووي، ولكنها تذهل بمدى ما يزال مطوقاً بقبضتها. ونحن مخلوقات كهرطيسية في عالم كهرطيسي، موجود عند نقطة التقاطع بين الضوء والكهرباء.

إن ضوء القمر الذي ينعكس من بحيرة يصبح، بلغة QED، فوتونات شمسية ترتد بواسطة الأغلفة الإلكترونية لذرات السليكون والأكسجين في الصخور القمرية وترتد ثانية بواسطة الإلكترونات في ذرات الهيدروجين والأكسجين التي تتشابك مع بعضها بعضاً لتشكيل الماء. وتتفاعل الفوتونات التي تنبو من الماء من جديد مع الإلكترونات–الرهج المشحون الذي يحيط بالسلاسل الكربونية لجزيئات البروتين في شبكيات أعيننا. وكل ما نخبُرُه تقريباً يأتينا على شكل ضوء منعكس، وهكذا تقدم لنا QED نظرية لمعرفة العالم.

ولكن الكهرطيسية هي أكثر من ناقل للإشارات، أو منارة ترشد إلى المادة. فالضوء والطريقة التي يتلاعب فيها بالإلكترونات أساسي كأي شيء آخر أساسي؛ فهو السبب الحقيقي الذي يجعل الذرات تلتصق مع بعضها بعضاً لكي تشكل مادة. والذرات تفعل ذلك وفقاً لدفتر قوانين QED. وبالطريقة التي جزأت فيها فيزياء القرن العشرين العالم، فإن QED تقع في أساس الكيمياء. فكلما تماسكت ذرتان أو تباعدتا، تنشأ القوة من الفوتونات التي ترتد جيئة وذهوباً بين أغلفتها الإلكرونية. ومعظم هذه التفاعلات غير مرئية، ولكن يحدث أحياناً أن يطرح تفاعل كيميائي زيادة كبيرة من الفوتونات إلى درجة أنها تضيء الليل: يتحد الأكسجين بسرعة مع الكربون ليولِّد لمعاناً غابياً؛ حباحباً يلتمع كالفسفور بوميض أخضر باهت. ولكن حتى عندما يكون الضوء ضعيفاً جداً أو يتذبذب في ترددات لا تستطيع أعصابنا أن تسجلها، عندئذٍ يوفر وسطاً تتصل من خلاله الإلكترونات، التي تصبح الذرات بواسطتها أجساماً وتتفكك الأجسام ثانية إلى ذرات. ومع كل خطوة نخطوها، فإن الإلكترونات هي

---

[65] الذي ظهر تحت هذا الاسم عام ١٩٨٥، وهو نسخة محررة عن Richard Feynman في أي مكان أكثر أناقة منه في الكتاب QED لم توصف المحاضرات الأولى لـ Alix G. Mautner في UCLA.

التي تتبادل الفوتونات التي تولِّد قوة منفِّرة تمنع أقدامنا من اجتياز الرصيف، الذي يخلق وهم الصلابة في عالم اعتقدنا بأنه، على الأغلب، حيز فارغ داخل أغلفة إلكترونية.

وهناك علم آخر موازٍ، هو الديناميكا اللونية، الذي يشرح كيف تتلاعب الجِلُيونات الملونة بالكواركات الملونة لتوليد المادة داخل النواة. ولكن تلك الرقصة تحدث في عالم خفي. والذرات وكل ما يُصنَع من الذرات "يعرف" بعضه بعضاً من طريق أغلفته الإلكترونية، وهي الواجهات المشحونة التي تعرضها إلى العالم. والنواة، بالنسبة لها، صندوق أسود، يلتزم بقوانين لا تحتاج الأغلفة إلى سبرها. والـ QED هي التي توفر قواعد اللعبة.

نحن نعيش في عالم منظم بما يكفي لقياسه. وننجز قياساتنا باستخدام الإلكترونات والضوء. ونشعر بشد الجاذبية عندما نذرع الأرض، ولكن عندما نوجه بصرنا إلى ما بعد الكوكب، فإننا نقيس القوى الثقالية بصورة غير مباشرة، بواسطة التأثير الذي تمارسه على الأجسام السماوية: جذب كوكب على آخر، التأثير الجاذب للمادة المظلمة على مجرة دوارة. وكيف تصل إلينا أنباء هذه التأثيرات؟ إنه من إشارات الضوء التي تُسجَّل فقط عندما تنتثر الفوتونات من الأغلفة الإلكترونية للذرات التي شكلت آلاتنا وأعيننا. ويصح الشيء نفسه عندما نحاول أن نرى داخل نوى الذرات. والتفاعلات المتسلسلة المفترضة للجسيمات التي تخلق جسيمات تخلق جسيمات يجب أخيراً أن تنتهي بفوتونات تنتثر من إلكترونات، مخلِّفة دمغتها على أدمغتنا. والخرائط التي نضعها، والنماذج التي نكتشفها، متجذرة في هذا التفاعل الأساسي أكثر.

أظهرت استكشافات شيطان ما كسويل التعقيدات التي تنشأ عندما نتأمل براعاتنا بشأن كيف نكتشف نظاماً في العالم. ليس هناك شيء من قبيل إدراك سليم؛ فنحن حتماً جزء من عالم نحاول أن نقيسه. وتواجهنا العشوائية في كل شيء ننظر إليه. ونحن نبني أنظمتنا، ولكن فقط على حساب خلق العشوائية في مكان آخر.

وتقول لنا QED إن هذا الشيء الذي نسميه قياساً هو أكثر غرابة ومراوغة حتى مما تقترحه الديناميكا الحرارية. فالحرف Q في أول الاسم هو إشارة إلى أن الكوريوغرافيا[66] الرياضية لرسلنا دون الذريين لن تكون شيئاً يشبه ما يسود هنا في العالم العياني. والفوتونات والإلكترونات، ككل الجسيمات دون الذرية، تمتثل للمنطق الكمومي. يقودنا بناء نظرية للظواهر المألوفة أكثر إلى حقول مجردة بعيدة كأي شيء في الخيال العلمي، إلى الرياضيات التي تتحدى تخيلاتنا العقلية. ويقال لنا إن الإلكترونات والفوتونات لا تنبو عن بعضها بعضاً ككرات البليارد. وعندما نقول إن الإلكترونات تنفِّر بعضها بعضاً عن طريق ارتداد الفوتونات جيئة وذهوباً، فإن ما نعنيه فعلاً هو هذا: الإلكترون الأول يخلق فوتوناً يمتصه الإلكترون الثاني بسرعة تكفي لتفادي انتهاك حفظ الطاقة. (من جديد، يوفر مبدأ لا يقينية هايسنبرج كوة تسمح للطاقة المتكونة ظاهرياً بالخروج من الجو الرقيق.) ولكن العملية حدسية مضادة حتى أكثر من ذلك. ويقال إن المسار الذي يسلكه إلكترون واحد أو فوتون واحد يجب أن يكون عشوائياً. وهذه ليست عشوائية الجهل البشري، التي نجدها مع الديناميكا الحرارية؛ ولا يمكن إنقاصها عن طريق جمع المزيد من المعلومات. وبما أن هذه ميكانيكا كمومية، فإنه يجب أن نتعامل معها بلا يقينية *فطرية*، حتى عند حساب شيء ما مباشر ظاهرياً كالطريق الذي يسلكه فوتون عندما ينعكس عن سطح عدَّاد وإلى أعيننا.

---

[66] فن الرقص وألحانه، خصوصاً الباليه-المترجم.

في سنتافي، ولوس ألاموس، وأمكنة أخرى، يحاول العلماء الذين يستكشفون فيزياء المعلومات فهم المضامين التي تحملها هذه العشوائية من أجل محاولاتنا لقياس العالم واكتشاف بنية فيه. ومن جديد، قادتهم محاولتهم لسبك نظرية المعلومات في قالب جديد إلى صخر القاعدة الذي يبدو فيه أن المعلومات أساسية ولا يمكن اختزالها. ولكن قبل أن ننتقل، في الفصل التالي، إلى هذه المحاولات لسبك نظرية الكم، فإننا سندرس من جديد الخريطة الغريبة التي ورثناها من فيزياء القرن العشرين في محاولاتها لرسم خريطة العالم دون الذري.

تعودنا على اعتبار العشوائية الكمومية كشيء محجوب في حيز صغير جداً لا يمكن رؤيته. ولكن من خلال العدسات النظرية لـ QED، تضخمت الظواهر الكمومية حتى ليبدو أنها تتظاهر كجزء مألوف من عالمنا. فعندما ينظر المرء عبر النافذة إلى مصباح شارع ينوِّر الثلج، فإنه يمكن أن يُجفَل لحظة للمحه صورة لهب من موقد خلفه يحوِّم في الهواء الليلي، أو شبح انعكاسه الخاص. إن جزءاً من الفوتونات التي تعبر النافذة يرتد إلى عينيه. فلماذا تعبر الزجاج مباشرة معظم الفوتونات المنبعثة من الغرفة دون تعويق، في حين ينعكس بعضها؟ يبدو أن فوتوناً منفرداً عندما يصل إلى سطح الزجاج يواجه احتمالين: يبحر عبر الزجاج أو يرتد. فكيف "يقرر" المسار الذي سيتخذه؟

في العالم الواقعي، ما كل الفوتونات متماثلة طبعاً. فهي تأتي في ألوان مختلفة-ترددات-وتصل بزوايا مختلفة. ولكن يمكن أن نتخذ الإجراءات لتخفيف التعقيدات التي تسببها هذه المتغيرات. في المختبر، نكتشف أنه حتى إذا نوَّرنا قطعة من الزجاج بمصدر منتظم لضوء أحادي اللون، أي حزمة أشعة فيها كل الفوتونات متماثلة بقدر ما نستطيع أن نجعلها كذلك، فإننا نحصل على هذه الظاهرة التي تسمى الانعكاس الجزئي. وباستخدام خلية كهرضوئية تحصي الفوتونات الفردية، اكتشف المختبرون أن نسبة معينة من جسيمات الضوء هذه تعبر الزجاج، بينما تنعكس نسبة معينة. فإذا أنتج الجهاز تياراً من البِتَّات، ١ مقابل فوتون يعبر الزجاج، و ٠ مقابل فوتون ينعكس، عندئذٍ نكتشف نسبة ثابتة من واحدين وأصفار. ولكن، في كل مرة نجري فيها هذه التجربة، فإننا سنحصل على ترتيب مختلف لهذه البِتَّات. فيمكن أن نكتشف أننا نحصل، مرة بعد أخرى، على ثمانية واحدين مقابل كل صفر، ولكن يمكن أن يكون النموذج مرة كما يلي: ١٠١١١١١١١، وفي مرة أخرى، كما يلي: ١١١١١١٠١١. وبعد ذلك، لن يكون بالإمكان التنبؤ بهوية بتٍّ فردي أكثر من إمكانية التنبؤ بدحرجة زهر النرد. ومع أنه يمكن قياس السلوك العادي لحشود الفوتونات، فإن "قرار" فوتون منفرد في عبور المرآة أو الارتداد يبدو عشوائياً.

ما الذي يحدد نسبة الواحدين والأصفار؟ بالمزيد من السمكرة، نكتشف أنه يمكن أن نغير نسبة الفوتونات المنعكسة عن طريق تغيير ثخانة الزجاج. فعندما نزيد ثخانته، فإن الجزء من الفوتونات المنعكسة يزداد من ٠% إلى نسبة قصوى مقدارها ١٦%. ولكن قبل أن نستنتج أن الزجاج الأكثر ثخانة يعني انعكاساً أكبر، نجعل الزجاج أيضاً أكثر ثخانة، ونكتشف أن العدد يعود من جديد إلى الهبوط نحو ٠. وإذا استطعنا أن نتلاعب بقرص مدرج لتعديل ثخانة الزجاج، فإننا سنكتشف أنه عندما نزيد الثخانة أكثر فأكثر، فإن نسبة الضوء الذي ينعكس سوف ترتفع وتهبط، وترتفع وتهبط في تموجات جيبية مستوية.

إذا كنا مطمئنين إلى اعتبار الضوء كموجات بدلاً من فوتونات، عندئذٍ لن يكون الانعكاس الجزئي ملغزاً جداً. ففي الرؤية الكلاسيكية، موجة تعبر قطعة من الزجاج تنقسم إلى جزأين: جزء يعبر، وجزء ينعكس. ولكن إذا جزأنا العالم لكي يكون الضوء تماماً شبيهاً بموجة، عندئذٍ سنُضطَّر لتفسير لماذا يبدو أن كاشفنا الضوئي يسجل الحزمة كفوتونات؛ وإذا ثبتناه بمضخِّم ومكبر للصوت، فإننا سنسمع تياراً ثابتاً من التَّكَّات. وأكثر قوة أيضاً، إذا رفعنا سطوع الضوء، فإن التكات تبقى بالقوة نفسها، ولكن تصبح أكثر سرعة. (إذا أردنا تكات أقوى–المزيد من الإلكترونات يتزحزح من الخلية الكهرضوئية–فإنه يجب أن نزيد تردد الحزمة الضوئية. وهذا ليس أكثر من ظاهرة أينْشتاين الكهرضوئية.) وفي سلسلة واضحة من المحاضرات، التي نشرت بوصفها *QED: النظرية الغريبة للضوء والمادة*، قدَّر ريتشارد فينمان، وهو واحد من المهندسين الرئيسين للديناميكا الكمومية، أن إدارة المستقبلات في شبكيات أعيننا تحتاج إلى خمسة أو ستة فوتونات. وأعلن أنه إذا استطعنا أن نجعل أعيننا أكثر حساسية بقليل، فإنه ستجفلنا رؤية الضوء الأحادي اللون على شكل نبضات.

وهكذا تبقى المعضلة: إذا كان الضوء يتكون من هذه الانفجارات النجمية التي تسمى فوتونات، عندئذٍ، كيف يعمل جسيم منفرد لكي "يتخذ قراره" كما يقول فينمان، سواء بالارتداد عن الزجاج أو بعبوره؟ وكيف يعدِّل سلوكه مع الثخانات المختلفة للزجاج؟ يبدو أنه يتوجب على الفوتون، لدى وصوله إلى السطح الأمامي، أن يرسل مجسات ويقيس مدى ثخانة الزجاج، ثم يحسب التفاوتات بحيث يستطيع أن يقرر المسار الذي يسلكه. ولكن حتى إذا استطاع فوتون أن يسبر الأعماق المختلفة بإرسال نوع من مسبار، فإننا سنُترَك مع مشكلة لا يمكن تذليلها: لكي تسافر إشارة عبر الزجاج وتعود إلى الفوتون في الوقت المناسب لتعديل وجهة سيره، فإنها يجب أن تتحرك بسرعة أكبر من سرعة الفوتون، أي أسرع من الضوء.

بما أن إرسال الإشارات المفرطة النصوع يُفترَض أن يكون ضد القانون، الذي ينتهك النسبية الخاصة، فإن ملاذنا الوحيد لتفسير لماذا لا تُعامل فوتونات متماثلة ظاهرياً بصورة متماثلة من قبل لوح زجاجي يكون بإلقاء مسؤولية الظاهرة على العشوائية–ظاهرة، كما نعرف حتى الآن، متأصلة لا تعتمد على جهلنا ببعض الحقائق. وQED لا تحاول تقديم آلية لشرح كيف يعمل انعكاس جزئي، أو أية ظاهرة أخرى بصرية. وتصف فقط ولكن لا تفسر. فالفوتون، دون أيما سبب ظاهر، يمضي في هذه الطريق أو تلك، وأفضل ما نستطيع القيام به هو أن نحسب الاحتمالات.

هذه حالة غريبة جداً بالنسبة لجامعي المعلومات. ففي محاولة لوصف الظاهرة الوحيدة الأساسية أكثر بالنسبة لعالمنا، أي الكهرطيسية، يقدم لنا العلم وسائل قوية لوضع تنبؤات إحصائية، ولكنه عاجز عن تقديم تفسير يمكن أن نتخيله في عقولنا. ومنذ فُرضَت تجارب بلانك الكمومية على العالم، وعلماء الرياضيات يشحذون ماسة الرياضيات بحدة. ولكن إمكانية وصف نوع ما من آلة خلف المعادلات تصبح ضعيفة أكثر فأكثر. وأولئك الذين يقول لهم حدسهم إن الحوادث في كل العوالم، سواء كانت مرئية أو لا، يجب أن تكون مرتبطة بأحبولة السبب والنتيجة المشدودة بقوة، يُترَكون في الحالة نفسها من الارتباك كالبروفسور جاكوب، موضوع رواية راسل ماك كورماك، *الأفكار الليلية لفيزيائي كلاسيكي*. فقد قال متفجعاً، "اعتاد الفيزيائيون أن يبحثوا عن آليات حية لفهم

العالم، ولكن الكثير منهم اليوم تخلوا عنها تماماً." وانسحبوا إلى كهف التجريد الرمادي البارد."[٦٧]

ولكن من الصعب ألا يُخدَع المرء كيف أن الرياضيات المضادة تماماً للحدس تتنبأ بشكل أنيق جداً بالطرق التي تتفاعل فيها الإلكترونات والفوتونات. نتعلم في فيزياء المدارس الثانوية أن الزاوية التي يصطدم فيها الضوء في المرآة (زاوية السقوط) تساوي الزاوية التي ينعكس فيها بسبب (مبدأ الزمن الأدنى) الذي نشره فيرما في القرن السابع عشر: يسلك الضوء الطريق الأسرع بين 'أ' و'ب'. ولكن نسي ما نراه في العالم العياني–شعاع الضوء الذي ينعكس عن منطقة في مركز المرآة. وأظهر فينمان، في QED، أنه للتوفيق بين مبدأ الزمن الأدنى ونظرية الكم، يجب أن نفترض أن الفوتونات تتصرف سراً بطرق تبدو مستحيلة، إلى حد أنها ترتد عن كل نقطة منفردة من المرآة، مجربة حتى الطرق الأبعد احتمالاً. وباستخدام قوانين QED، نحدد "سعة" كل واحد من المسارات (الجذر التربيعي لإمكانية أن يذهب الفوتون في تلك الطريق). وعندما نجمع سَعات هذه الطرق المتعددة، أو "القصص" نجد أن كلاً منها تقريباً يلغي الآخر، تاركاً المسار الذي تساوي فيه زاوية السقوط زاوية الانعكاس، الطريق الذي يستغرق عبوره الزمن الأدنى.

يمكن أيضاً استخدام طريقة فينمان "أضف للقصص" لتفسير الانعكاس الجزئي أو السرابات على طريق عامة صحراوية أو لماذا تبدو ساق المرء ملتوية عندما يدخل بركة مياه. في كل حالة، يُطلَب منا أن نتخيل كل طريق ممكنة يمكن أن تسافر فيها الفوتونات، ثم يُطلَب منا أن نجمعها مع بعضها بعضاً. ولتوخي الدقة بقدر الإمكان، يمكن أيضاً أن نضع في اعتبارنا مسارات افتراضية يتحرك فيها الفوتون بسرعة أقل أو أكثر من سرعة الضوء. وتعزز بعض الإمكانيات إحداها الأخرى، وأخريات تلغي إحداها الأخرى، وتُترَك مع المسار الذي نراه في العالم العياني الكلاسيكي.

إن طريقة فينمان لا تنطبق ببساطة على الفوتونات التي تسافر جملة. ويمكن تقريباً أن نتخيل فوتوناً واحداً من شعاع ضوئي يرتد هنا، وآخر يرتد هناك. ولكن، لكي نتوجه إلى السؤال الأصلي–كيف "يعرف" فوتون وحيد أن يذهب–يجب أن نفترض أن *كل* جسيم وحيد يستخدم كل سبيل ممكنة في وقت واحد، وأن أحدها يلغي الآخر، تاركاً المسار الكلاسيكي.

وما يصح على الفوتونات ينطبق أيضاً على الإلكترونات. فإذا كنا نريد دراسة الحالة البسيطة ظاهرياً لإلكترون يتحرك من النقطة أ إلى ب، عندئذٍ يجب أن ندرس كل طريق يمكن تخيله ونضيف إمكانية أن الإلكترون، على امتداد الطريق، يمكن أن يبعث ويمتص أي عدد من الفوتونات. فعندما يصطدم إلكترون بفوتون، فإنهما، وفقاً لقوانين الفيزياء دون الذرية، يفنيان ذاتياً في ومضة ضوء؛ وعلى العكس، تولِّد ومضة ضوء–فوتون–زوجاً يتألف من إلكترون وبوزيترون. وهكذا يجب أيضاً أن نضع في اعتبارنا إمكانية أن كل فوتون بعثه إلكترون مسافر يصبح إلكتروناً وبوزيتروناً، يمكن أن يصطدما ليشكلا فوتوناً من جديد. إن بوزيتروناً ما يكافئ إلكتروناً ما يتراجع في الوقت المناسب، وهذا يجعل الأمور غريبة أكثر في صياغة فينمان لـ QED.

بقدر ما تكون QED كآلة حاسبة، تعطي أعداداً تتفق بقوة مع الأرقام التي قيست بالتجربة التي قال فينمان فيها: كأن المرء يستطيع أن يقيس المسافة من نيويورك إلى لوس آنجلس بمدى عرض شعرة بشرية. ولكن، هل

---

67 "تستخدم الفيزياء للبحث عن آليات حية": - Night Thought of a Classical Physicist لـ Russell McCormmach.

QED مجرد أداة رياضية، كالحسابات المرهقة التي كانت يوماً يجري تعليمها في المدارس الثانوية لاستخراج الجذور التربيعية والجذور التكعيبية يدوياً؟ أو أنها حقاً تصف واقعاً تحتياً؟ يُصِرُّ فينمان، في QED، على أن الكثير من الظواهر البصرية كالحيود (علة قوس قزح التي يراها المرء عندما يمسك بسجل فوتوغرافي أو قرص مدمج إلى الضوء) نستطيع فهمها فقط إذا افترضنا أن كل فوتون ينزلق عن سطح ما يسلك حقاً كل سبيل ممكنة. وليس خطأ الواقع أن تكون أدمغتنا عاجزة عن تخيل هذا. ويبدو أن هذا مستوى تحت العالم النيوتُني الكلاسيكي يعمل وفقاً لمبادئ مختلفة. ومن هذه القوانين الكمومية تنشأ القوانين المألوفة لعالمنا.

قديماً، كان العلماء يدرسون نظاماً ويتخيلون آلية يمكن أن تشرح كيف يعمل، وبعدئذٍ يكتشفون أو يبتكرون شيئاً من الرياضيات لتوخي الدقة. وفيما يتصل بنظرية الكم، لدينا رياضيات ولكن لا نعرف ماذا تعني.[٦٨] ولدى التفكير بهذه الحالة الغريبة، يمكن أن نتعاطف مع البروفسور الخيالي جاكوب، الذي أهملته نظرية الكم الجديدة:

"خلال حياته،" كتب ماك كورماخ، "انعطفت الفيزياء أكثر فأكثر نحو التصورات الرياضية المتقدمة للطبيعة. وبالنسبة له، لم تكن خمسون سنة بطولها كافية لكي ينظر إلى أعماق معادلات الفيزياء الكلاسيكية، وبالتأكيد ليس إلى الرؤى النهائية لمعادلات ماكسويل، التي رأى هيرتز بحق أنها أكثر حكمة من مبتكرها وأتباعه. وكان من غير الواقعي أن ننتظر منه أن ينظر إلى أعماق معادلات الفيزياء التي جاءت بعد ماكسويل، إذا كان لها أعماق ولم تكن، في نهاية الأمر، حيلة رياضية. (على مدى أسابيع، كان يناضل مع بحث حول الذرات وضعه سامرفيلد، فقط لكي يستنتج أنه لم يكن يعمل في الفيزياء بل كان يشعوذ بالأرقام.")

إن طريقة فنمان "أضف للقصص" هي مجرد واحدة من طرق الشكلية التي تستخدم لحل المشكلات في ميكانيكا الكم. ويمكن أيضاً وصف الظواهر الكمومية التي تستخدم وسائل رياضية تسمى مصفوفات هيزنبرچ، وموجِّهات حالة ديراك، والمألوف أكثر، موجات شرودِنجر. وكلها متكافئة رياضياً وغريبة بالتساوي. وأصبحت التنبؤات المدهشة لنظرية الكم مادة خاماً هائلة في الثقافة الشعبية إلى درجة أصبح الكل الآن يعرفون النسيج القطني. ومع ذلك، لا يمكن القول إن جسيماً عابراً يمتلك موضعاً أو كمية تحرك محددة. فقبل قياسه، يحوّم في حالة توجد فيها تقريباً كل مواضعه الممكنة أو كميات تحركه الممكنة في وقت واحد، ممثلاً بدالَّة شرودنجر الموجية. ويتخذ قيمة فعلية فقط عندما يصطدم بكاشف، أي عندما نقوم بإجراء القياس. تصور الموجة أن الجسيم سينتهي في حالة أو أخرى، ولكن النتيجة تبقى غير محددة قبل أن تظهر. وأياً كانت الشكلية التي نستخدمها، فإن الرياضيات تملي أنه كلما كانت معرفتنا أكثر دقة لإحدى هاتين القيمتين، الموضع أو كمية التحرك، كانت معرفتنا للقيمة الأخرى أقل دقة. فعندما نحدد بدقة موضع جسيم ما، فإننا لا نستطيع أن نعرف شيئاً عن مدى سرعة حركته. وهذا هو طبعاً مبدأ اللايقينية لهيزنبرچ، الذي يعتبر أيضاً أن الزمن والطاقة والأزواج الأخرى من الصفات متممة. ويجب علينا، نحن المراقبون، أن نقرر أيها نقيس. وبطريقة مماثلة، يمكن أن يبدو الضوء كجسيمات أو موجات، اعتماداً على وجهة نظرنا التجريبية.

كيف يمكن أن يكون العالم الذي نعيش فيه مختلفاً جداً عن العالم الذي يقع تحته؟ حتى هنا، في العالم الكلاسيكي، تبدو الأشياء مختلفة من وجهات نظر مختلفة، ولكن نحن، كالعميان الذين يستكشفون فيلاً، يمكن

---

[68] يدرس: لدينا رياضيات دون أن نفهم معناها- Jseph Schwartz معضلة الفيزياء الحديثة هذه في The Creative Moment .

أن نسوي خلافاتنا ونتفق على شكل ما هو موجود أمامنا. غير أن نظرية الكم[69] تحمل هذه الذاتية إلى نهاية غريبة: ليس هناك فيل، بل عميان فقط.

إن قمة سانديا معروفة لدى هنود البويبلو باسم تيرتل ماونتن [جبل السلحفاة]، وهو اسم يبدو غير ملائم بالنسبة لكل من ترعرع في ألبوكيرك. فمن موقع مناسب، عند أسفل الجرف الشرقي، لا يبدو الجبل شبيهاً بسلحفاة. ولكن إذا نظرنا شمالاً، إلى أعلى ريو چراند، فإننا سنرى الجبل يمتد ويلتوي حتى عندما نصل إلى قرية سانتو دومينچو وننظر إلى الوراء، حيث يبرز شكله الحيواني للعيان. وأكثر الناس يعرفون الجبل من زاوية ألبوكيرك. ولكن ما دام ليس هناك إطار مرجعي مميز في الكون حيث نستطيع الخروج من النظام ونراه ككل، فإنه ليست هناك أيضاً رؤية قانونية لجبل سانديا. فالمستوطنون الذين يأتون في العربات من الشرق يرون منحدراً طويلاً لطيفاً يرتفع نحو حد سكين چرانيتية حيث تتراجع الأرض فجأة. ومع ذلك، سيتفق كل المشاهدين على أن هناك جبلاً وأنه إذا اجتمعنا معاً وارتفعنا فوقه مباشرة في منطاد هواء ساخن، فإننا سنرى الجغرافية نفسها.

ووفقاً لنظرية الكم، ليس هناك جبل، بل مجرد رؤى. فإذا امتثل سانديا للقوانين التي يمتثل لها كل واحد من جسيماته، عندئذٍ يكون من الخطأ منحه وجوداً مستقلاً. فقبل رؤيته، سيكون معلقاً علىالحد، كتراكب لكل الطرق الممكنة التي يمكن أن يكونها.

كيف نصل من هذا المستوى من الهلامية إلى عالم أشيائنا التي تمتلك مواضع محددة، لا تراكبات، أي التي تمتلك، في الوقت نفسه، مواضع وكميات حركة؟ يبدو أن مستوى أعلى يسمى الميكانيكا النيوتُنية مبني فوق قوانين الكم. فكيف نقوم بالرحلة؟ ذلك أيضاً ما لم تحاول QED تفسيره: لماذا يبدو أن أشياء عالمنا لا تمتثل للقوانين نفسها التي تمتثل لها المادة التي تكونت منها؟

فمن ناحية، إن فكرة القوانين التي تسبب قوانين مختلفة تماماً، هي، من ناحية أخرى، ليست غامضة في حد ذاتها. فعالمنا كعكة زفاف كاملة مؤلفة من طبقات. والجسيمات دون الذرية التي تمتثل لقوانين QED والديناميكا اللونية الكمومية تُحدِث الذرات وتحمل الجسيمات على الامتثال لقوانين الكيمياء، التي تحمل الخلايا على الامتثال لقوانين البيولوجيا، والمخلوقات على الامتثال، إلى حد ما، لقوانين السيكولوجيا، والسوسيولوجيا، والاقتصاد. ودون الشرود بعيداً عن العالم الكلاسيكي، يمكن أن نجد هذه الظواهر الطارئة في كل مكان. فالماء، بكل خواصه، ينشأ من اتحاد ذرات الهيدروجين وذرات الأكسجين، ولكن لا يمكن القول إن جزيئاً وحيداً من H_2O هو ماء. وفي الدماغ، ترسل المكونات التي تسمي عصبونات، وكل منها يمتثل لقوانين بسيطة، إشارات جيئة وذهوباً وتنشأ الصفات التي نسميها إدراكاً، وذكاء، ووعياً. وكل واحد من هذه المستويات مغلق بإحكام عن المستوى تحته. وجزيئات الغاز التي تتدافع هنا وهناك في حاوية تُحدِث خواصاً طارئة تسمى حرارة وضغطاً. ولكن عندما نقول إن جسيماً واحداً له درجة حرارة أو ضغط، فإن كلامنا سيكون دون معنى تماماً كما لو قلنا إن عصبوناً وحيداً يتمتع بوعي أو جزيء الماء هو ماء؛ فهذه خواص كلٍّ منسجم توجد فقط في مستوى أعلى.

---

[69] بين أفضل التفسيرات الشائعة لنظرية الكم: الفصل السابع من The Character of Physical law لـ Richard feynman، والفصل السادس من Paradigms Lost لـ John Casti، و Quantum Reality لـ Nick Herbert، و The Symbiotic Universe لـ George Greenstein، وحوار J. M. Jauch :Are Quanta real? وقد تم جمع البحوث حول قياس المشكلة في Quantum theory and Measurement لـ John Archibald wheeler و Wojciech Zurek .

إذا نقبنا خلال حاسوب رقمي، فإننا نجد تسلسلاً هرمياً من اللغات. في أسفل السلم، معالِجات صغرية ورقاقات ذاكرة تتصل بلسان ثنائي، كل شيء فيه-الأعداد، الحروف، الصور-يتكون من سلاسل واحدين وأصفار. والقوانين التي تحكم هي قوانين المنطق الثنائي. والركوب على قمة شيفرة هذه المكنة هو مستوى أعلى، لغة أكثر تجريداً رموزها ليست واحدين وأصفاراً بل أوامر بسيطة مثل **اجمع وانتقل**. وبتسخير هذه الرموز، يستطيع المرء أن يبتكر أيضاً لغات أعلى مستوى مثل لغات البرمجة BASIC، وFORTRAN، وC ويستخدم أوامرها الأكثر قوة لكتابة كلمة معالِجات، وصورة زيتية، وبرامج، وألعاب ڤيديو. وبين كل من هذه المستويات هناك برنامج-يسمى مجمِّع أو مترجم-يترجم من مجموعة قوانين إلى أخرى. والقوانين في لعبة الفيديو لا تشبه قوانين لغة FORTRAN، التي لا تشبه شيفرة المكنة التي تملي كيف يجب أن تتنقل الواحدون والأصفار. ولكن إذا تجملنا بالصبر، فإنه يمكن أن نترجم القوانين المحكمة من مستوى أعلى-"عندما تدمر كويكباً سياراً، تحصل على ١٠ نقاط"-إلى سلسلة ثنائية طويلة.

تنشأ الصعوبات عندما نحاول المضي في أحد المستويات إلى مسافة أعمق، إلى القاع المظلم حيث يغوص السليكون والذرات الأخرى التي تشكل رقاقات المنطق والذاكرة في عالم ميكانيكا الكم. فالطبقات العليا، بقدر ما هي مختلفة عن بعضها بعضاً، فإنها تمتثل كلها للمنطق الحتمي نفسه؛ فكل شيء يحدث لسبب ويُحاك في شلة خيوط متينة للعلة والمعلول. وعلى المستوى الكمومي، تكون اللغة لا حتمية. ويمكن فقط أن نتحدث عن إمكانية أن يتحرك إلكترون في هذه السبيل أو تلك. علاوة على ذلك، إن صخر القاعدة الكمومي هذا الكثير العقد في قاع جراند كانيون، يقوم بطريقة ما، كالصخر الصواني غير المنتظم من عصر ما قبل الكمبري، بدعم كل الطبقات المصفوفة فوقه بأناقة. وفي العودة إلى استعارة حاسوبنا: ما طبيعة المترجم الذي يتيح لنا القيام بهذا الانتقال الغامض؟ وكيف تنشأ الكلاسيكية؟ ولماذا نتفق على أن هناك جبلاً واحداً؟

إن واحدة من النوافذ التي أُعطيناها لإلقاء نظرة سريعة على الحقائق القاسية لنظرية الكم هي التجربة ذات الفتحتين السيئة الصيت. نسلِّط حزمة ضوئية على شاشة حساسة للضوء، ونضع بين المصدر والشاشة حاجزاً يحمل ثقبين. وتسمى الصورة المطروحة *نمط التداخل*، وهي تماماً ما نتوقعه إذا كان الضوء مؤلفاً من موجات: تشير أطياف الضوء والظلام إلى المناطق حيث تكون الموجات، التي تعبر الثقبين، متطاورة، تعزز بعضها بعضاً، أو حيث تكون مختلة التطاور، تلغي بعضها بعضاً. ولكن، لنكرر التجربة باستخدام حزمة إلكترونات وهذه أيضاً تغادر نمط تداخل مخطط، أي التوقيع الكلاسيكي لموجة. يمكن أن نخفف شدة الحزمة ونرى دليل الجسيمات: ومضات مستقلة كلما اصطدم إلكترون أو فوتون بالهدف. ولكن إذا انتظرنا بما يكفي، فإن التصادمات الفردية ستتعقب، نقطة نقطة، أطياف الظلام والضوء نفسها.

نتوقع أن تقوم موجة بمغادرة نمطِ تداخل: تعبر كلا الثقبين في وقت واحد وتتشطر إلى موجتين تتدخلان ببعضهما بعضاً. ولكن لماذا يسلك تيار مطّرد من الجسيمات بهذه الطريقة؟ تواجهنا المشكلة نفسها التي تنشأ مع الانعكاس الجزئي. ومن الصعب تماماً تعليل لماذا تعبر بعض الجسيمات الثقب الأول، في حين تعبر الثقب الثاني جسيمات أخرى يُفترَض أنها تُبعَث في الشروط الأولية نفسها. يبدو أن الاختيار يحدث عشوائياً. ولكن لماذا ينتج عن هذا السلوك الغريب نمطُ تداخل؟ وكيف "تعرف" الجسيمات أن تنظم نفسها بهذه الطريقة؟

إن الملاذ الوحيد هو افتراض أن مصدر جسيماتنا ليس منتظماً كما نعتقد، إلى حد أنها تُبعَث، في الواقع، بمسارات مختلفة قليلاً، مما يجعلها تنزلق عن حوافي الثقبين بزوايا مختلفة. أو ربما تتأثر أثناء العبور بجسيمات أو موجات أخرى. وعندئذٍ يمكن أن نستنتج أن نمط الموجة وهم، أقصد توزيعاً إحصائياً للجسيمات التي تحط في أمكنة مختلفة بسبب العشوائية التي يسببها الجهل–عوامل لم نفسرها. فلو كنا نعرف كل المعلومات، لاستطعنا أن نتنبأ، على وجه الدقة، أين سيحط كل إلكترون.

لو كانت الأمور فقط بسيطة جداً، لما كانت هناك حاجة لنظرية الكم؛ ولأمكن شرح التجربة ذات الفتحتين والانعكاس الجزئي بالميكانيكا النيوتُنية والإحصائيات العادية. ولكن عندما ندقق النظر، فإن هذا التفسير ينهار. لنغلق أحد الثقبين ولنكرر التجربة بالإلكترونات. فنحصل ببساطة على بقعة دائرية حيث تعبر الإلكترونات أو الفوتونات الثقب المفتوح وتصطدم بالشاشة. إنها ستتصرف من جديد كجسيمات. من السهل اعتبار هذا النمط كتوزيع احتمالي؛ فتراوحات طفيفة في الشروط الأولية تحمل الجسيمات على الاصطدام بالهدف في مواضع مختلفة تتجمع حول الشق المفتوح. وإذا أغلقنا هذا الثقب، وفتحنا الثقب الآخر، فإننا سنحصل على توزيع مماثل. وإذا وضعنا مصراعين على الثقبين، وأغلقنا أحدهما ثم الآخر، بالتناوب جيئة وذهوباً، فإننا سنحصل على اثنتين من هذه اللطخات جنباً إلى جنب. إلى هنا لم يحدث شيء يجده حدسنا الكلاسيكي غير مرغوب فيه. ولكن عندما نفتح الثقبين، فإننا، في الحال، نحصل من جديد على نمط التداخل شبه الموجي–مناطق مظلمة حيث يصطدم أكثر الإلكترونات بالشاشة ومناطق مضيئة حيث تحط، أو لا تحط، بضعة إلكترونات. ولكن ماذا يتدخل بماذا؟ وكيف يمكن لفتح الثقبين أن يمنع إلكتروناً من أن يحط في أمكنة كان سابقاً حراً في الذهاب إليها؟ وكما كتب الفيزيائي جون بِلّ، عام ١٩٨٥، "كأن مجرد إمكانية عبور الثقب الآخر تؤثر على حركته وتمنعه من دخول جهة أخرى."[٧٠]

هل نحن نتعامل مع موجات أو جسيمات؟ لنفترض أننا نركز انتباهنا على الثقبين بالذات، مستبدلين المصراعين بكاشفين. الآن، عندما يصل إلكترون إلى الحاجز، نستطيع أن نعرف ما إذا كان يتصرف كموجة تعبر كلا الفتحتين، أو كجسيم يعبر هذا الثقب أو ذاك. وما نكتشفه هو التالي: عندما يتكُّ أحد الكاشفين، يكون الآخر صامتاً؛ فهما لا يتكّان أبداً في وقت واحد. يبدو أن ذلك يحل المسألة لصالح الجسيمات التي تعبر ثقباً أو آخر. ولكن، آنذاك ننظر إلى الهدف ونرى أن نمط التداخل قد اختفى. ونعود من جديد إلى البقعتين الدائريتين. فعندما نختبر بحثاً عن جسيمات، نجد جسيمات، وعندما نختبر بحثاً عن موجات، نجد موجات. وكما هي الحال مع الانعكاس الجزئي، فإن الحاجة إلى آلية ترجعنا إلى تخيل أن الجسيمات تتحسس بطريقة ما طبيعة الجهاز التجريبي بإرسال مسابير فائقة النصوع لكي تستطيع أن تكيف سلوكها وفقاً له.

إن التسوية التي تبناها أكثر الفيزيائيين تخلت عن الأمل بتفسير ميكانيكي للظواهر الكمومية والنظر إلى كل إلكترون في التجربة ذات الثقبين بوصفه تجريداً رياضياً، موجة يمكن اعتبار أنها تمثل كل سبيل، أو تاريخ ممكن، يستطيع الجسيم أن يسلكه في طريقه إلى الهدف. وعندما يصطدم الجسيم بالهدف، فإن هذه الدّالَّة

---

[70] "كما لو أن مجرد إمكانية"- Speakable and Unspeakable in Quantum: "عوالم ستة محتملة في ميكانيكا الكم،" في ص ١٨٥ من كتاب Mechanics لـ J. s. Bell.

الموجية "تنهار" أو " تُضعَف" ويتخذ الجسيم عشوائياً واحداً من المواضع الممكنة. في هذا التفسير، تعبر الموجة الاحتمالية نفسها كلا الثقبين، منشطرة إلى موجتين احتماليتين تتداخلان مع بعضهما بعضاً، منتجتين النمط المخطط. وعندما نضع كاشفاً على كل ثقب، فإننا ببساطة نقوض الموجة الرياضية حالاً، قبل أن تتهيأ لها فرصة الانقسام إلى موجتين وخلق أطياف التداخل.

منذ اقترح ماكس بورن هذا الرأي الغريب في صيف ١٩٢٦، والفيزيائيون والفلاسفة يتجادلون حول ماذا يمكن أن يعني رأيه. من السهل على المرء أن يفكر بموجات احتمالية تتضمن الكثير من الإلكترونات، ولكن أنى له أن يتخيل إلكتروناً منفرداً باعتباره موجة احتمالية؟ إن أكثر الفيزيائيين يقنعون أنفسهم، على أساس يومي، بحقيقة أن نظرية الكم تنتج هكذا نبوءات دقيقة. ولكن عندما يُضطَّرون إلى تفسير، فإن الكثير منهم يُصِرُّ على أن الموجة الاحتمالية، في الواقع، لا تنتشر خلال المكان. وقاموا، وقد أُجبِروا على الاتفاق على رياضيات دون آلية، بتَمْدِيَة[71] الرياضيات، متعاملين مع هذا التجريد كما نتعامل مع موجة ماء، مما يتيح لها الارتباط بالانكسار، والانعكاس، والتداخل.

يمكن أن يحتج البعض بأن هذه الترقية للوسائل الرياضية إلى منزلة مادة حقيقية تحدث في كل وقت في الفيزياء الكلاسيكية؛ والدليل على ذلك المجال المغنطيسي الكهربائي، وهو تجريد لا يضيرنا كثيراً أن نمنحه مادة. ولكن الدَّالاّت الموجية الكمومية تبدو أثيرية أكثر بكثير من الأمواج الكهرطيسية، لشيء واحد، هو أن المجال المغنطيسي الكهربائي يوجد في حيز فيزيائي؛ يمكن أن نمشي فيه هنا وهناك، ونقيس شدته من نقطة إلى نقطة. أما الدَّالَّة الموجية فتوجد في مجال رياضي يسمى حيز الشكل. وتصنع تموجها في منطقة خيالية لا نستطيع معرفتها مباشرة أكثر مما نستطيع رؤية حيز تبدي فيه نُوَيَّة ما لفاً نظائرياً.

وهكذا، فإن المدهش أكثر هو أنه يمكن معالجة أمواج الاحتمالية هذه بثقة كما لو كانت أمواج موسيقية. وقد أظهر عالم الرياضيات الفرنسي جوزيف فورييه قبل حوالي قرنين أن موجة من أي شكل–موجة مربعة مسطحة القمة، موجة أُشَرِيَّة مسننة–يمكن التعبير عنها بوصفها بأنها حاصل جمع الأمواج الجيبية، أي تلك التموجات المستوية المتماثلة التي نربطها بنغمة موسيقية صافية. وتعلمنا أيضاً أن نعبر عن الموجة الجيبية بوصفها بأنها حاصل جمع الأمواج الجيبية، أو الأمواج الأُشْرِيَّة. وفي الواقع، يمكن إقحام أية موجة في أي نوع آخر لموجة. ويمكن معالجة هذه المركَّبات ووضعها متجاورة لكي تعزز المركَّبات المتطاورة بعضها بعضاً، وتتعطل المركَّبات المختلة التطاور، لتتركنا مع أي شكل موجي نحبه. إن بعض هذه التراكيب طبيعي أكثر من غيره. والأمواج الجيبية والأمواج المربعة متماثلة جداً إلى حد أنه يقتضي أخذ القليل نسبياً من واحدة لتشكيل الأخرى. ولكن الموجات الأخرى متنامَّة، وتحتل الزوايا المقابلة في حيز الأشكال الموجية. فموجة دفعية، أي الذروة الحادة التي نحصل عليها إذا ضربنا فجأة قطعة من الخشب بعصا–كل السعة التي تركزت في زمن متناهي الصغر، نقطة زمنية–مختلفة جداً عن النغمة الصافية لشوكة رنانة التي تأخذ مجموعاً ضخماً من الموجات الدفعية لتشكيل موجة جيبية، والعكس بالعكس. وفي الواقع، تتطلب مضاعفة هذه النغمات بدقة تامة عدداً لا متناهياً من الموجات المتنامة. إن هذه التحولات الموجية المجردة، كما يبدو، تُنجَز طوال الوقت في التسجيل الرقمي. ويمكن

-جعل الشيء المجرد مادياً-المترجم.[71]

أن تكون موجة دفعية إما مقيمة أو مغادرة، أو ١ أو ٠، وهكذا تشكل الحرفين في أبجدية ثنائية. إن تسجيل قرص رقمي مدمج لسمفونية يمكن اعتباره كأمواج جيبية من الأجهزة–أعمدة مهتزة من الهواء–تتكسر إلى أمواج جيبية بواسطة استوديو التسجيل وترتد إلى أمواج جيبية عندما تنبثق من مكبرات الصوت في المجهر الصوتي.

تتكون الأمواج الصوتية من مادة: أوتار مهتزة، هواء مهتز، طبلات أذنية مهتزة. وفي نظرية الكم، تطبق الفيزياءُ القوانينَ نفسها على أمواج الاحتمالية:[72] تكسر دالَّة موجية التي تمثل جسيماً خلال الموشور الرياضي المناسب وتصبح مجموعاً–تراكباً–من الأمواج الجيبية. وتمثل كل موجة جيبية إمكانية أن الجسيم يمتلك كمية تحرك معينة. (لنربع سعة الموجة–نقيس "جهارتـ"ها–ونحصل على الاحتمالية.) ولنكسر الدالة الموجية إلى طريق أخرى ونحصل على أمواج دفعية، التي تمثل المواضع الممكنة للجسيم. وينتج مبدأ اللايقينية لهيزنبرج من حقيقة تَنَامّ الأمواج الجيبية والموجات الدفعية. إن موجة جيبية التي تمثل كمية تحرك لجسيم هي تراكب لعدد لا متناه للموجات الدفعية، أي رَهَج المواضع الممكنة. وتثبيت قيمة واحدة بدقة تامة يلوث القيمة الأخرى في كل أنحاء الخريطة الرياضية.

إذاً، يمكن أن ندرك ما يقصده بعض المنظِّرين عندما يقولون إن جسيماً كمومياً هو مجرد إمكانية، أي أنه لا يمتلك إحداثياً حتى يُلاحَظ. والأمواج الجيبية *في الواقع* لا تتكون من أمواج مربعة، ولكن، كمراقبين، نحن أحرار في تحليلها بتلك الطريقة. فنستطيع أن نأخذ لحننا المفضل ونكسر كل نغمة إلى تراكب موجات مربعة، ولكن ذلك لا يعني أن هناك في الواقع أمواجاً مربعة تنبعث من ثقب السوبرانو.[73] والدَّالَّة الموجية أيضاً تمثل جسيماً لا يتكون في الواقع من أمواج جيبية أو أمواج دفعية؛ وهذه البدائل لكمية التحرك والموضع تُظهِر نفسها فقط لأننا نختار كسر الدَّالَّة الموجية بطريقة معينة. فالقياس هو الذي يخلق الموضع أو كمية التحرك.

في هذا التفسير لنظرية الكم، يمكن اعتبار كل خاصية للجسيم كموشور مختلف نمرِّر من خلاله الدَّالَّة الموجية. فالأمواج الجيبية تعني كمية التحرك، والأمواج الدفعية تعني الموضع. والأشكال الموجية الأخرى تمثل الطاقة، والزمن، واللف، وهلمجرا. ولكن أين نرسم الخط؟ رياضياً، يمكن كسر موجة إلى عدد غير محدود من الأشكال. فليس هناك ما يمنعنا من تفتيت دالَّة موجية إلى أمواج أُشْرِيَّة، أو أمواج مربعة، أو أمواج زنبقية الشكل، أو تراكب من أي شكل موجي نخربشه عشوائياً. وتتضمن الدَّالَّة الموجية لا نهاية من الخصائص، يبدو أن معظمها ليس له نظير في الطريقة التي يجزئ أبناء الأرض بها العالم. ومع أننا أطلقنا على بعضها تسميات–لف نظائري، فتنة،[74] غرابة[75]–إلا أنه ليس لها تفسير فيزيائي واضح. ولكن أكثريتها الواسعة يجب أن تبقى مجهولة وأيضاً لا يمكن تخيلها.

لماذا يعتبر الموضع وكمية التحرك أساسيين جداً بالنسبة لنا؟ هل يمكن أن يكون حادثاً عصبياً مفاجئاً للتطور؟ أو حالة طارئة للطريقة التي تطور فيها الكون نفسه؟ فإذا انتهينا على غصين من الشجرة التطورية، أو في كون مختلف، فربما سيكون الموضع وكمية التحرك دون معنى في حين تكون الخصائص التي يمكن فقط أن

---

[72] نجد التشابه بين الموجات الكمومية والموجات الموسيقية في Quantum Reality لـ Nick Herbert.

[73] أعلى نغمة في الموسيقا، وتسمى أيضاً النَّدي-المترجم.

[74] رقم كمومي يُقترَح لبعض الجسيمات الأولية لتفسير بعض ظواهر تفاعلاتها وخصائصها-المترجم.

[75] رقم كمي للجسيمات الأولية الغريبة، يسري عليه قانون الحفظ في التفاعلات القوية والكهرطيسية، وإن كان لا يسري في التفاعلات الضعيفة –المترجم.

نعتبرها مفاعَلَةً[٧٦] Xness وقبوليةً[٧٧] Yness طبيعة ثانية. ولكن من السهل أن يدفعنا الحماس بعيداً، فنحسب رموزنا واقعاً بدلاً من اعتبارها مجرد أدوات للوصف. فمتى يكون عملنا في الفيزياء؟ ومتى يكون مجرد شعوذة بالأعداد؟ نحن نبني هذه الأنظمة لتمثيل العالم، ثم نُترَك للتساؤل عما تعنيه. ما الخريطة؟ وما المنطقة؟ وهل هناك اختلاف بأية حال؟

كان نيلز بور يعتقد بأن التمييز لا معنى له، وأن كل ما يمكن أن نرجوه هو خريطة جيدة. وكان أيضاً يعتقد أن المشكلة تتمثل في أن اللغة، لفظية ورياضية، التي تطورت لكي تساعد بقيانا على الأرض هي ببساطة ليست مجهزة للملاحة في العالم دون الذري. "يجب أن نكون واضحين حول أن اللغة، عندما نصل إلى الذرات، يمكن أن تستخدم فقط كما في الشعر،"[٧٨] قال يوماً لهيزنبرج بينما كانا يشقان طريقهما بصعوبة عبر غابات جيرمان. وعندئذٍ، سأل هيزنبرج " والشعر أيضاً ألا يهتم كثيراً تقريباً بوصف الحقائق كما يهتم بخلق الصور وتأسيس الروابط العقلية، فكيف يمكن أن نأمل يوماً أن نفهم الذرات؟"

فأجاب بور، "أظن أنه يمكن أيضاً أن نفعل هذا. ولكن في العملية، قد يترتب علينا أن نتعلم ما تعنيه، في الواقع، كلمة 'فهم'."

في بناء تفسير لنظرية الكم، أي بناء الواقع خلف الرياضيات، يجب علينا أن نقرر كيف نضع الأساس. ولدينا خياران استقرابيان: نستطيع إما أن نسلم جدلاً بعالمنا ونفسر العالم الكمومي في مصطلحات كلاسيكية، أو نتناول نظرية الكم بوصفها أساسية ونحاول شرحها كلاسيكياً بمصطلحاتها.

وفيما انتهى إلى أن يسمى تفسير كوبنهاجن، سلك بور وهيزنبرج السبيل الأول. فعالم الظواهر، ذاك الذي نستطيع أن نلاحظه، هو الواقع الوحيد الذي نستطيع أن نعرفه. وبما أن محاولة وصف العالم الكمومي بمصطلحات كلاسيكية يؤدي إلى تناقضات وسخافات، فإنه يمكن فقط أن نستنتج أن الواقع يعمل تحت السطح الذي نراه بطرق غامضة بالنسبة لنا. فنظرية الكم نوع من تثليث تستخدم فيه أزواج متنامة لمفاهيم ناقصة– موجة/جسيم، موضع/كمية تحرك–لإيوائها، بأقصى استطاعتنا، على ظواهر تتجاوز حدود أجهزتنا العصبية البشرية. والرياضيات ليست صورة لواقع تحتي ولكن ببساطة أداة لوصف التفاعل المربك بين العوالم الكمومية والكلاسيكية. يُجري مراقب قياساً، وإمكانيات دالَّة موجية تنهار كما ينطوي أكورديون، ونحصل نحن على نتيجة محددة ولكن لا يمكن التنبؤ بها. لم يجد بور وهيزنبرج معنى للتفكير حول ما إذا كانت الموجة نفسها واقعية بطريقة ما. وعلى مدخل الذرة، بلغنا حدود قدراتنا. وكما قال هيزنبرج، "إن ما تعلمنا حولها لم يكن الطبيعة نفسها، بل الطبيعة التي عُرِضَت لطرق استنطاقنا."[٧٩]

كان بور مولعاً بالقول إنه ليس هناك واقع عميق. والإرباك الذي ينشأ عندما نتأمل طبيعة العالم دون الذري متجذر في خطأ مفاهيمي: إصرارنا على أن هناك شيئاً ما خلف الانعكاسات في مرايانا التجريبية. وكل ما نمتلكه هو ملاحظاتنا. وليس هناك عالم أعمق. وحتى إذا كانت، فالمبرر ضعيف للافتراض بأن أدمغتنا ستُوالَف

---

[76] -الجزء التخيلي في معاوقة دارة (دائرة) للتيار المتبدل، وهو الجزء في مقاومة دائرة للتيار المتبدل والذي لا يكون معتمداً على المقاومة الأومية-المترجم.

[77] -معكوس المعاوقة، وتعبر عن مدى سهولة سريان التيار المتردد في دائرة (دارة) ما-المترجم.

[78] في Physics and Beyond لـ Heisenberg. ص ٤١: "يجب أن نكون واضحين عندما نصل إلى الذرات" -

[79] في Quantum Reality لـ Herbert. ص ١٧٢: "إن ما تعلمناه حولها ليس الطبيعة نفسها" -

لكي تفهمه. ومع نظرية الكم، يمكن أن نكون قد حملنا عقولنا إلى أقصى ما تستطيع الذهاب إليه.

ولكن هناك أكثر من طريقة واحدة للنظر إلى هذه الأشياء. فقد وجد عالم الرياضيات جون ڤون نيومان أنه من الاعتباطي والمركزيبشري تقسيم الكون إلى عالمين منفصلين، كما فعل بور وهيزنبرج، اللذان يعطيان منزلة مميزة لوضعنا الخاص. وأظهر أيْنشتاين أنه داخل العالم الكلاسيكي المُحدَث للزمكان الرباعي الأبعاد ليس هناك مرصداً مميزاً. فلماذا يجب أن نتخلى عن هذه الديموقراطية عندما نحاول دخول العالم دون الذري؟ وفي بناء تفسيره لنظرية الكم، افترض ڤون نيومان أن العالم الكمومي هو الأساسي. وكانت الكلاسيكية لغزاً بالنسبة للتفسير. يمكن للمرء تقريباً أن ينظر إلى عالمنا الكلاسيكي بوصفه انحرافاً، لقطة فوتوغرافية أخذها مراقب وهو يُجري قياساً ويسبب انهيار الموجة الاحتمالية.

إذا كانت نظرية الكم شاملة فعلاً، عندئذٍ يجب تمثيل العالم العياني بدالاّت موجيه، شأنه في ذلك شأن العالم دون الذري. فعندما نُجري تجربة، فإن الأمواج من جهاز القياس تتفاعل مع أمواج الشيء الذي نقيسه. وتتفاعل أمواج العالِم مع أمواج جهاز القياس. وفي مكان ما على طول الطريق، تصبح الإمكانية حقيقة. ولكن، في أية مرحلة يحدث الانهيار، وما الذي يسببه؟

لنتصور عالِماً يغرز مسباراً متخيلاً في غلاف ذري، ويحصل على نوع ما من قراءة–صورة على قرص مدرج، رقم على شاشة حاسوب. وعندئذٍ تتسجل هذه المعلومات على شبكية العالِم–شبكة المستقبلات التي تسوق إشارات كيميائية كهربائية إلى سلسلة العصبونات التي تشكل العصب البصري. في كل خطوة، تقيس عصبوناتٌ عصبوناتٍ. فأين تنهار الموجة الاحتمالية لكي تعطي جواباً دقيقاً؟ وعند أية نقطة نذهب من تراكب كل حالة ممكنة إلى نتيجة وحيدة؟ هل في جهاز القياس، في العين، في مكان ما على امتداد العصب البصري؟ وعلى أي أساس سنفضل مشبكاً عصبياً على آخر؟ وأية حلقة في السلسلة سنسميها الـ "مراقب"؟

رأى ڤون نيومان أن هذا الارتداد اللانهائي فيما يبدو للقياسات، وقياسات القياسات، وقياسات قياسات القياسات توقفت عندما وصلت إلى العقل، المكان الوحيد على امتداد السلسلة حيث يحدث، كما يبدو، أي شيء خاص. يمكن أن نسمي هذا تفسير بودابست، لأن ڤون نيومان الهنغاري وزميله يوجين ڤايجنر هما اللذان وضعا سلسلة الحجج التي تقود إلى هذه النتيجة، إذا قبلنا المقدمات المنطقية. فدرس نظرية الكم، بالنسبة لهما، يفيد بأنه ليس هناك حدود لإدراك العقل، كما كان يعتقد الكوبنهاجنيون، ولكن العقل نفسه هو الذي يجعل وجود العالم ممكناً–بإنجاز القياسات النهائية التي تقوض الموجة الكمومية.

ولكن هذا ببساطة يحوّل اللغز إلى موضع جديد، من شيء ما غامض يحدث على نضد المختبر إلى شيء ما غامض يحدث في الدماغ. وهذا، ألا يعطي مكانة خاصة للوعي على الأقل بوصفه مركزيبشرياً بقدر ما يعطي مكانة خاصة للعالم الكلاسيكي؟ إن أية أداة قياس، على سبيل المثال، صفيحة فوتوغرافية بسهولة تعمل كدماغ، يمكن أن تقوض الموجة في تفسير كوبنهاجن. ويبدو تقريباً كأن الهنغاريين اختاروا العقل ببساطة لأنه واحد من ظاهرتين–الظاهرة الأخرى هي نظرية الكم–اللتين، على الأقل، نفهم حقيقتهما. وفي كتابه الجديد Emperor's New Mind، يتخذ عالم الرياضيات روجر بنروز الوجهة المعاكسة، محاولاً تفسير الوعي بافتراض أن الدماغ يعمل وفقاً للمبادئ الكمومية، إلى حد أنه عندما نفكر، فإننا نحتفظ بآلاف الإمكانيات في

تراكب كمومي، موجة تنهار عندما يصدمنا جواب لمشكلة كصاعقة غير متوقعة. وهكذا يحدد المرء خياره. فنحن نستطيع أن نستخدم غموض الوعي لفهم نظرية الكم، أو غموض نظرية الكم لفهم الوعي.

في الكوزمولوجيا، إن تأملات ڤون نيومان وڤايچنر هي جذر ما يسمى ترجمة قوية للمبدأ الأنثروبي، الذي يعتبر أنه من خلال تكافل دُواري، يخلق الكون مراقبين يخلقون الكون بتقويض الأمواج الاحتمالية. وقال هيزنبرچ إن كل ما نعرفه أبداً هو "طبيعة تعرضت لطرقنا في الاستنطاق." وذهب الفيزيائي جون ويلر إلى أبعد من ذلك عندما قال، "لا جواب دون سؤال."[٨٠]

انتشى العلم يوماً بفرحة منحرفة عندما خلع الجنس البشري من مركز الكون. فچاليليو أزالنا من عين النظام الشمسي؛ وداروين ضن علينا حتى بعرش أرضي. وتبعاً للمبدأ الأنثروبي القوي وتفسير بودابست لنظرية الكم، فإننا نرى ابتعاداً عن التقدم. فالبشرية، أو الوعي على الأقل، تعود إلى المرحلة المركزية. ومع أنه يمكن أن يكون معزياً تصور أن الكون يعتمد، بدرجة ما، على قياساتنا، فإنه من الأفضل أحياناً، كما يبدو، أن نسمي المبدأ الأنثروبي القوي بالمبدأ التجسيدي القوي. وكم هو معقول أن نفترض أن العصبونات–هذه الكيسات البالغة الصغر من ماء البحر التي طورت القدرة لتطلق ومضات الكهرباء عندما يعكرها ظل اقتراب لمفترس أو قوة موجة–لا يمكن فقط أن تتنبأ بتناغم الكواكب بل تشارك بطريقة ما في إحداث الوجود الحقيقي للكون؟ ومع اعتزازنا المشروع بقدرتنا على القياس، انتهينا إلى مماهاة قياساتنا بالواقع. وذهبنا إلى أبعد من ذلك، عندما قبلنا إمكانية أن تكون القياسات، في المقام الأول، هي التي تخلق الواقع.

وفي زاوية أخرى من الكون العلمي، حاول علماء الأعصاب سد الفجوة بين الدماغ والعقل، لكي يُظهِروا أن الوعي هو مجرد خاصية طارئة تنشأ من خلايا الدماغ، التي يمكن تفسير سلوكها بواسطة الكيمياء، وهي علم نحو الجسيمات والذرات. وينشأ العقل من قوانين المادة. وهكذا، بينما يحاول بعض العلماء تحويل المادة إلى وعي، يحاول آخرون تحويل الوعي إلى مادة. ويبدو أننا محتبلون في أنشوطة ضخمة، كالأسماك التي تتوجه بخياشيمها إلى المرْبى المائي مفتونة بانعكاساتها الخاصة.

بالنسبة لأولئك الذين لا يصدقون أياً من التفسيرين: تفسير كوبنهاچن أو تفسير بودابست، هناك بديل آخر، كان أول من عرضه هوغ إڤيريت الثالث عام ١٩٥٧: لنفترض أن الدَّالَّة الموجية لم تتقوض أبداً–ليس في الدماغ، ليس في جهاز القياس، ليس في أي مكان على امتداد الطريق. إن تفسير إڤيريت لنظرية الكم، بمعنى من المعاني، هو الاقتصادي أكثر. فلا حاجة لاستدراك ما افتقر إليه كل من بور وڤون نيومان: تعليل لما يسبب انخفاض الموجة الاحتمالية. ولكن هذا الاقتصاد يأتي بثمن. والأنباء الطيبة هي أنه يجب ألا نمنح مكانة خاصة هبة لوجه الله لأي من أجهزة القياس أو إلى الوعي. والأنباء السيئة هي أنه يجب أن نسلِّم بفكرة ما يبدو أنه عدد لا متناه لعوالم متوازية.

لنفترض أننا نريد قياس اللف لإلكترون ما، لتعيين ما إذا كان اللف "صاعداً" (عكس حركة عقارب الساعة) أو "نازلاً" (مع حركة عقارب الساعة). وكما فعل ڤون نيومان، افترض إڤيريت أن نظرية الكم شاملة، إلى حد

---

[80] "لاجواب دون سؤال.": - Information, Physics, Quantum: The search for Links لـ Wheeler وفي ص ١١ من Complexity, entropy and Physics of Information لـ zurek. تم تحري تفسير Hug Everett لنظرية الكم في مجموعة البحوث The Many-Worlds Interpretation of Quantum Michanics التي حررها Bryce DeWitt و Neill Graham.

تنطبق معه بقوة مساوية على العالم الكلاسيكي. وبالتالي عندما تتفاعل الدَّالَّة الموجية لجهاز قياسنا مع الدَّالَّة الموجية للجسيم، فإن جهاز القياس أيضاً سيكون في تراكب للحالات، أي لف صاعد ولف نازل. وعندما نتفاعل مع الجهاز، فإننا سنكون أيضاً في تراكب: في مركَّبَة واحدة لموجة، سنكتشف أن الجهاز سجل لفاً صاعداً؛ وفي المُرَكَّبَة الأخرى، سنكتشف أنه سجل لفاً نازلاً. وفي الواقع، إن أي شيء يتفاعل معنا بعدئذٍ سيوحي بالتراكب، وهكذا إلى ما لا نهاية. فالدَّالَّة الموجية لا تنهار أبداً؛ وبدلاً من ذلك، يشع البرزخ إلى الأبد، مُحْدِثاً كوناً تلف فيه الإلكترونات صعوداً وكوناً آخر تلف فيه نزولاً.

إن المشكلة الكبيرة هنا تتمثل طبعاً في توضيح لماذا ندرك فقط نتيجة واحدة من هاتين النتيجتين. فتفسيرا كوبنهاجن وبودابست لا يشرحان كيف نقوض الدَّالَّة الموجية؛ وتفسير إيڤيريت تخلص من التقويض، ولكن كيف نتصور عالماً كهذا؟ وهناك تفسير آخر، قدمه الفيزيائي بيرس إس ديويت، يقضي بأن نتصور أن هناك، في الواقع، مراقب مماثل لا نراه يدرك النتيجة الأخرى. فيرى أحدنا جسيماً يلف صعوداً، ويرى الآخر جسيماً يلف نزولاً. وإذا قمنا بقياس شيء ما، كموضع، الذي يمكن أن يتخذ سلسلة من القيم، عندئذٍ ننشطر إلى سلسلة من المراقبين المختلفين، كل منا في كون مختلف. إن بعض علماء فيزياء القدرات الرياضية البشرية واثقون جداً إلى درجة أنهم يريدون تَمْدِيَة حتى هذا التضاد الحدسي لدى الشكليين. فإذا كانت هناك حالات متماثلة في الرياضيات، عندئذٍ يجب أن يكون هناك عوالم متماثلة.

ولكن حتى الكثير ممن يجدون في شكلية إڤيريت البديل الأكثر جاذبية، يقاوم مضامينها الأغرب. فقد حاول زيورِك وزميله سيث لُويْد، اللذان عملا مراراً في معهد لوس ألاموس وسنتافي، إقناع كوزمولوجي كان يؤيد تفسير إڤيريت بوجود "عوالم كثيرة" بأنه ربما كان راغباً في المقامرة في الروليت الروسية على مليون دولار. وفي النهاية، حيثما تتوقف اسطوانة المسدس عن الدوران، فإنه يمكن عزو توقفها إلى تراوح كمومي. هذا الكوزمولوجي سيموت في أحد العوالم، وفي العوالم الأخرى الخمسة سيكون على قيد الحياة وأكثر غنى.[٨١] وأخيراً، سلَّم الكوزمولوجي بأنه لا يستطيع أن يتخيل القيام بمجازفة كهذه. وقال، "لا أريد أن أسبب لزوجتي الألم في أي من العوالم."

بالنسبة لِلُويْد، هناك أسباب قاهرة دفعته إلى الاعتقاد بأن الغصن الذي نعيش عليه هو وحده الغصن الواقعي. ويقال إن صموئيل جونسون استجاب لرأي بيشوب بيركلي الذي يقول إنه ليس هناك عالم واقعي، والواقع كله موجود في العقل، بقوله وهو يرفس صخرة: "أنا أدحضه هكذا!" فبالنسبة لجونسون، لا يمكن أن يكون شيء واقعياً ما لم نستطع الحصول على معلومات عنه. والأغصان المتماثلة في شكلية إڤيريت مغلق أحدها دون الآخر؛ ولا يمكن لمعلومات أن تتدفق فيما بينها. فهي، كما يقول لُويْد، أفضل أمثلة يمكن أن نتخيلها لما هو غير واقعي. والأفضل أن ننظر إليها لا بوصفها أكواناً متماثلة بل بوصفها قصصاً ممكنة. ونستطيع أن نتظاهر بما كانت ستكون عليه الحال لو كنا في عالم آخر من هذه العوالم الممكنة. ولكن تلك المشكلة ليست ميتافيزيقية أكثر من المشكلة التي طرحها فيلم *إنها حياة رائعة*، حيث يُطلَب منا أن نتخيل كيف كانت ستكون الحال في قرية بِدْفورد فولس دون جورج بيلي والمدخرات والقرض.

---

81 أعيد سرد دعابة زيورك ولويد بصورة مختلفة إلى حد ما في The Quark and the Jaguar لـ Gell-mann.

منذ قال أينشتاين إنه وجد صعوبة في الاعتقاد بأن الإله يلعب النرد مع الكون، حاول بعض الفيزيائيين أن يثبتوا أن نظرية الكم يجب أن تكون ناقصة. إلى حد أن العشوائية التي توجدها لا يمكن أن تكون متأصلة. وهي، كالعشوائية الديناميكية الحرارية، يجب أن تكون ذاتية، تنشأ من الجهل.

عندما "يقرر" فوتون هل يرتد عن قطعة من الزجاج أو يجتازها مباشرة، أو عندما يختار إلكترون ثقباً دون غيره، أو عندما تنحل نواة فجأة وتطلق نيوتروناً، فهل يكون الحادث فعلاً غير حتمي؟ أو هل يمكن أن تكون هناك آلية خفية؟ لقد كُتِب علينا ألا نعرف أبداً ما إذا كانت سلسلة ما عشوائية أو ما إذا كنا فقط لسنا أذكياء بما يكفي لضغطها. هل يمكن أن تكون هناك، كما هي الحال مع الأعداد التي تنبثق من مكنة البينچو في تيسوك، انحيازات، أي انحرافات عن العشوائية، أي أنظمة لسنا أذكياء بما يكفي لفهمها؟

في الواقع، إن تفسيراً "متغيراً خفياً" كهذا لنظرية الكم هو دائماً اختيار. وإذا كان باستطاعة العلماء أن يفترضوا مادة مظلمة شفافة، فلماذا لا يستطيعون افتراض أن الجسيم في تجربة الثقبين، في الواقع، يرسل مجسات، لتقدير ما إذا كان ثقب واحد مفتوحاً أو الثقبين وتعديل مساره وفقاً لذلك؟ يسمي الفيزيائي ديفيد بوم هذه المجسات "الموجات الدليلية." وبهذه الطريقة المتمتعة بقداسة القدم لاقتراح كيان لا يمكن، من حيث المبدأ ملاحظته، يعيد صياغة نظرية الكم بطريقة يمكن تقريباً أن نتخيلها بعقولنا. إن الإلكترونات والفوتونات وما شابه في هذه الرؤية، التي اقترحها أولاً الفيزيائي الفرنسي لويس دو بروچلي عام ١٩٢٥، تكون جسيماً وموجة في آن معاً. فموجة دليلية لا تُستبان تسافر مع الجسيم وتستكشف المنطقة، وترسل معلومات إلى الخلف. الصعوبة بالنسبة لتفسير بوم هي أن يطلب منا أن نؤمن باتصال فائق النصوع بين الموجة الدليلية والجسيم. ومن جديد، تواجهنا مشكلة أن الفوتون يسافر، بالتحديد، بسرعة الضوء، وبالتالي، فإن أية حزمة رادارية كمومية للتتبع تستخدم لسبر المحيط يجب أن تسافر بأسرع من الضوء.

في الواقع، تستنتج موجودة مشهورة تُعرَف بنظرية بِلّ أن كل النظريات المتغيرة الخفية تقتضي ضمناً بالضرورة نوعاً ما من اتصال فوري فائق النصوع. وقد توصل بِلّ إلى هذه النتيجة بعد دراسة دقيقة لمضامين التناقض الظاهري السيء الصيت عند أينشتاين–پودولسكي–روسين (EPR).[٨٢] حاول أينْشتاين وزميلاه، ناثان روسين وبوريس پودولسكي، تقويض نظرية الكم بتخيل جسيم ينحل إلى جسيمين يلفان، وفقاً لقوانين الفيزياء، في اتجاهين متعاكسين. ووفقاً لنظرية الكم، فإن زوج الجسيمات يشكل منظومة واحدة تكون في تراكب للحالات الممكنة. وبعد ترك الجسيمين يحلقان متباعدين مسافة أميال أو حتى سنوات ضوئية، يقيس مراقب واحداً منهما، مقوضاً موجته الاحتمالية لكي تتخذ عشوائياً لفاً صاعداً أو لفاً نازلاً. ولذلك، فإن خط التخريم المشهور: حالما ننجز هذه القياسات، فإن الجسيم الثاني بالتحديد يجب أن يلف في الاتجاه المعاكس. وبطريقة ما، يبدو أن القياس الأول ينتشر عبر المكان (أو، بالتناوب، رجوعاً في الوقت المناسب). وبما أن هذا الفعل "الشبحي" من بعيد ينتهك، كما يبدو، النسبية الخاصة، كان من الطبيعي أن يستنتج أينْشتاين أن نظرية الكم هي التي يجب أن تكون خاطئة: كالجسيمات الكلاسيكية، يجب أن يكون للجسيمين الكموميين لف محدد دائماً، وليس فقط عند

---

82 الحروف الأولى من أسماء Einstein-Podolsky-Rosen.-المترجم-

قياس أحدهما. لم تكن اللايقينية متأصلة؛ بل ببساطة عزِيَت إلى جهلنا.

ولكن بِلّ[83] أثبت أن أينْشتاين كان مستسلماً لتفكير رَغْبِيّ. فقد أظهرت نظريته (التي دعمتها فيما بعد التجارب في جامعة باريس بإشراف ألين أسبكت) أنه لا يمكن لنظرية حتمية تماماً أن تشرح سلوك الجسيمات دون الذرية، ما لم تستنجد بنوع ما من اتصال لحظي "لا موضعي." والطريقة الوحيدة للتخلص من هذه الفكرة البغيضة تكون برفض وجود متغيرات خفية. وفي اختيار طريقة لتجزئة العالم الكمومي، فإننا نُحشَر في زاوية حيث يتوجب علينا إما أن نقبل اللايقينية المتأصلة أو نصدق بأن الجسيمات في الجانب المقابل من الكون يمكن أن تكون، بمعنى لا يمكن فهمه، متواشجة إلى درجة تكون معها الموضعية وهماً.

حتى إذا اخترنا التفسير الأخير، فإن نظرية بِلّ تُظهِر أن الاتصالات الفائقة النصوع ربما لا يمكن استخدامها كقنوات لنقل المعلومات لحظياً داخل العالم الكلاسيكي. ويبدو أن المعلومات الكمومية والمعلومات الكلاسيكية شيئان مختلفان جداً. فالمعلومات الكلاسيكية يمكن قراءتها دون تشويشها ويمكن أن ننسخها مراراً بقدر ما نريد، ولكن لا يمكن أن تسافر بسرعة أكبر من سرعة الضوء. أما المعلومات الكمومية–التي تتكون من بِتّات كمومية، كما يسميها البعض–فهي كفوءة لظواهر أينْشتاين–بودولسكي–روسين هذه،[84] ولكن لا يمكن قراءتها أو نسخها دون تغييرها بصورة أساسية.

رأى تشارلز بِنِت، بالتعاون مع خمسة علماء آخرين، أنه يمكن استخدام البِتّات الكمومية والبِتَّات الكلاسيكية لما سماه النقل البعيد. في هذا المخطط، تريد المرسلة (عادة، تسمى أليس) أن تنقل جسيماً كمومياً إلى المستقبِل بوب. وباستخدام قناتين، واحدة تنقل البِتَّات الكلاسيكية، والأخرى تنقل البتّات الكمومية، يمكن أن ترسل إلى بوب إشارتين، يستطيع أن يوحدهما لخلق نسخة مطابقة كاملة للجسيم (يُدمَّر الجسيم الأصلي في العملية).

خلقوا أولاً زوج EPR لجسيمات كمومية مترابطة. واحتفظت أليس بواحد واصطحب بوب الآخر معه إلى الجزء الآخر من العالم. وبعدئذٍ، قامت أليس بتجربة، سمحت فيها باتصال جسيم EPR الذي احتفظت به والجسيم الذي تريد نقله. وبما أن جسيم EPR المتبقي عند أليس مترابط مع جسيم بوب، فإن التشوش سينتقل إليه فورياً على شكل بِتّات كمومية. وآنئذٍ، وباستخدام الشكل الكلاسيكي للاتصال–مخابرة هاتفية، إذاعة لا سلكية، جريدة مصنفة–تبلغ بوب نتيجة التجربة. وعندئذٍ يستطيع أن يستخدم معلوماته لإعادة خلق حالة الجسيم الأصلي في جسيم EPR الذي اصطحبه معه.

ما يزال بضعة علماء، يدفعهم الجوع إلى كون حتمي، يعقدون الأمل على أن عشوائية نظرية الكم ستنتهي إلى وهم، وعلى أن هناك نظاماً يتسكع في الأسفل. في نهاية محاضرة رعاها معهد سنتافي عام ١٩٩٢، ارتجل جيم كْرَتْشْفيلد، الذي انتقل من جماعة روليت سنتا كروز ليصبح فيزيائياً رياضياً في بيركلي، ملاحظة حول المشكلات التي تنشأ من نظرية الكم. قاطعه موري جل–مان، "ما المشكلات مع نظرية الكم؟" فأجاب كْرَتشفيلد، "حسناً، أظن أنني مجرد جبري عنيد." لقد اعترف كرتشفيلد بسرعة بأنه يصعب على المرء أن يراوغ بشأن النجاح

---

[83] الوارد أعلاه وفي كتاب Herbert و Casti في كتب Bell -ورد تفسير نظريات متغيرة مخفية ونظرية Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics لـ Bell.
[84] ابتكرها ديفد بوم.EPR -هذه الترجمة لتناقض

الساحق الذي حققته نظرية الكم في شرح نتيجة تجارب الجسيمات. ولكن، كان يأمل بوجود طريقة ما لإثبات أن فعل القياس يسبب نوعاً ما من ظاهرة مختلة. فإذا صح ذلك، عندئذٍ يمكن أن تكون النتيجة العشوائية لانهيار الدَّالَّة الموجية محكومة بجاذب غريب، السمة المميزة للاختلال الحتمي. وعندئذٍ، ستكون العشوائة الكمومية عميقة جداً لسبر غورها.

وعلى الرغم من ذلك، يبدو، حتى الآن، أن أحداً لم يحقق أي تقدم في اكتشاف شواش تحت عشوائية الكم. مشكلة ضخمة هي نظرية بِلّ. فاستبدال العشوائية الكمومية بشواش حتمي سيشكل نظرية متغيرة خفية، وهكذا ستقوم الإشارة الفائقة النصوع بالتسلل من جديد من الباب الخلفي. يفكر البعض بإمكانية أنه ربما يكون هناك خلل محجوب يترصد داخل شبكة معتقدات وافتراضات بِلّ. ومن الواضح، أن بِلّ يفترض قدرة الرياضيات على عكس العالم الفيزيائي بدقة. واقترح بعض المرتابين أن العشوائية الكمومية يمكن أن تنشأ بطريقة ما من العشوائية المتأصلة التي اكتشفها شيتن في الحساب. ولكن، حتى الآن، لم يبدأ أحد بتفسير ما يتفق الكل على أنها حجة جميلة الحبك.

في الواقع، يعتقد لويد، وجِلّ مان، وزيورِك، وآخرون بأن أولئك الذين يحاولون أن ينسبوا عشوائية كمومية إلى الشواش، إنما هم ينظرون من خلال النهاية الخاطئة للتلسكوب. فلنتذكر الحساب الذي يُضخَّم فيه موضع إلكترون على حافة درب التبانة بواسطة تفاعلات لا خطية حتى تؤثر على نتيجة لعبة البليارد. من هذا المنظور، يبدو أن عشوائية الشواشات تأتي من اللاحتمية الكمومية، لا من طريق أخرى هنا وهناك.

إن أياً من الالتفافات التفسيرية لن يكون ضرورياً طبعاً إذا كنا نرغب في التسليم بأن الخرائط ليست منطقة، وأنه ليس هناك حدود لقدرات عقولنا ورياضياتنا، وأننا نتمسك بمفاهيمنا الكلاسيكية بسبب تطورنا، وأن أفضل ما يمكن أن نفعله هو التحدث حول كيف يتفاعل عالمنا الكلاسيكي ولغتنا مع العالم دون الذري الخفي. إن ظاهرة كثنائية موجة/جسيم ربما تُظهِر ببساطة أنه يمكن أن يكون هناك ثابتان في الداخل لكن نموذجان حصريان تبادلياً–بناءان عقليان بشريان–يسمحان لنا بالتنبؤ حول العالم. ويمكن أن نستخدم أحدهما الذي يعمل على نحو أفضل في هذه الحالات.

ولكن هناك شيء ما بخصوص العقل البشري الذي يتمرد على القيود بالطريقة التي يتمرد فيها حيوان ضد قضبان قفصه. وبدلا من التسليم بأنه ربما لا تكون رياضياتنا شاملة وكلية القدرة، أي أنها ببساطة ابتكار بشري عرضة للخطأ، يفضل البعض القبول باستنتاجها بأن السببية لا توجد خارج مجالنا. ولكم سنكون سخفاء ومحدودين لو اعتقدنا بأنها كذلك. فتبعاً لنظرية الكم، يبدو أن أدمغتنا ورياضياتنا مشدودة إلى نقطة الانفصال، ومع ذلك، فإن المثابرة على شدها هو جزء من الطبيعة البشرية. في الواقع، نحن لا نعتقد أبداً بأنه يستحيل علينا أن نعرف المطلق، ولذلك نتشبث بنظرية الكم لا كوسيلة لتفسير التجارب بل كبيان حول كيف هو العالم في الواقع. وبنوع من التحويل الرياضي، فإن أعدادنا، كالإنجيل، تكتسب مادة وتصبح جسداً.

الفصل السادس

ديموقراطية القياس

في حوليات الشيطنة، إن لمخلوق ماكسويل الخيالي، الذي يتمتع بالقدرة على تعقب موضع كل جزيء من الغاز في حجرة، جَداً أعلى يحظى أيضاً باحترام أكبر، كائناً يمكن أن نسميه شيطان لاپلاس. وفي حين نستطيع، نحن البشر، أن نتماهى مع الشيطان الصغير لماكسويل، الذي يجمع البِتّات باهتياج شديد، متفحصاً المتتاليات بحثاً عن نماذج، محاولاً ضغط أي نظام يستطيع من الفيضان، فإن شيطان لاپلاس يستريح بهدوء، ويدرس العالم بعين إله شمولي الرؤية. ففي احتفاله بالعالم النيوتُني المعروف تماماً، تخيل لاپلاس، في القرن الثامن عشر، ذكاء مقتدراً جداً يستطيع، إذا أُعطي موضع كل جسيم وسرعته في الكون، أن يحسب تفتح التاريخ. وقد استُشهِد باستنتاج لاپلاس مرات كثيرة. وقد كتب، "بالنسبة لألمعي كهذا، لا شيء يمكن أن يكون مشكوكاً فيه؛ والمستقبل، تماماً كالماضي، سيكون حاضراً أمام عينيه."

من المغري في هذه الأيام اعتبار الشيطان اللاپلاسي كحاسوب كبير، نسخة مؤتمتة لجمل تيسوك. فلو كان الكون كلاسيكياً ولقَّمنا الشيطان بموضع وكمية تحرك كل جسيم في لحظة معينة، لعرف كل ما يمكن أن يُعرَف. ولكان كل شيء متضمَّناً في تيار البيانات، بما في ذلك الحوادث التي اجتمعت لتكوين لاپلاس وتجاربه التي جزَّعت دماغه، مما يؤدي في النهاية إلى اقتراحه بأن الكون لاپلاسي. بالنسبة لهذا الذكاء المطلق، لن يكون هناك هدف في إنجاز العلم: كل تجربة أديرت حتى الآن–بما فيها من يقوم بها، ومتى وأين، وكيف اشتُهِرَت–ستكون مبتذلة كتكات ساعة.

بالنسبة لعين شمولية الرؤية، لا شيء في الواقع سيحدث أبداً في هذا العالم السكوني الترالفامَدوريني Tralfamadorean. فقط قاطنوه، شياطين ماكسويل بأدمغتهم الصغيرة جداً وحواسهم المغمَّاة، سيجدون الحياة مشوقة. والتعويض على الجهل يكون مفاجأة. حتى الجبري الأكثر عناداً–الواثق من أن التاريخ مرمَّز سلفاً في سفر الرؤية أو (كما يقول بعض السنتافيين) في العروض التصويرية الكونية المنحوتة في مكان ما على المستوى الأثيري–سيكون سعيداً بعدم معرفة ما يكفي تقريباً لجعل الحياة مملة.

حتى قبل نشوء نظرية الكم، أدى ظهور الشواش الرياضي إلى السقوط المفاجيء لإله لاپلاس. وتعلمنا أنه حتى الأنظمة الحتمية البسيطة يمكن أن تحكمها جواذب غريبة. إن أدنى تغيير في الشروط الابتدائية، أي الأعداد التي ندسها في المعادلات البريئة، يمكن أن يسبب ترجحات ضخمة في الناتج لا يمكن التنبؤ بها بصورة جوهرية. ويتضخم جهلنا أُسِّياً حتى ضمن مدى اللحظات التي يشمل فيها كل شيء. إن عدم الدقة، حتى وإن كان طفيفاً جداً، في قياس موضع جسيم وحيد–٨ بدلاً من ٩ في المرتبة العشرية المليون–سيتضاعف بسرعة حتى يتغير مجرى التاريخ الكوني. في النظرية، إن سلوك نظام كهذا حتمي تماماً–كله هناك في الشروط الابتدائية–ولكن فقط إذا كانت معروفة بدقة لا متناهية. ومع ذلك، نستطيع أن نتخيل شيطان لاپلاس، ولكن يجب أن نمنحه قدرات لا متناهية. بالتعريف، إن كائناً قوياً إلى ما لا نهاية، يستطيع أن يفعل كل شيء، وهكذا تتضاءل رؤية لاپلاس اللانهائية إلى حشو. الكون قابل تماماً للتنبؤ، ولكن فقط إذا صدف وكان المتنبئ إلهاً.

يمكن أن يكون مفاجئاً إدراك أنه على الرغم من تأصل عدم إمكانية التنبؤ بنظرية الكم، فإن سلوك الدَّالَّة الموجية حسن جداً. فهي خطية بإفراط. وإذا تُركَت دون قياس، فهي حتمية، وليست بالمعنى الغريب للمعادلات الشواشية، التي يمكن التنبؤ بها نظرياً ولكن ليس عملياً. فإذا أعطينا شكل موجة احتمالية في موضع ما في الوقت المناسب، فإنه يمكن أن نتنبأ بما ستكون عليه في وقت لاحق، أو يمكن أن نستقرئ رجوعاً ونرى كيف كان يجب أن تبدو في الماضي. فمعقد الإمكانيات، الكلي التراكب، يتطور بطريقة نظامية. والعشوائية لا تدخل إلى الصورة إلا عند إجراء القياس، عندما تنهار الموجة على نحو لا يمكن التنبؤ به إلى واحدة من الحالات الممكنة.

يمكن اعتبار الكتلة البدائية للانفجار الكبير كجسيم، وبناء عليه، يقول الكوزمولوجيون، لا شيء في نظرية الكم يمنعنا من أن نتخيل معادلة موجية لكامل الكون، مع كل تاريخ ممكن متراكب. ومن جديد، نُترَك مع رؤية لعالم معلومات كاملة، حيث يتراءى أن ليس هناك متسع للعلم. وكل نتيجة ممكنة لكل تجربة استطعنا إجراءها، بما فيها الظروف التي أُجريَت فيها، ستكون متضمنة في الدالَّة الموجية الكمومية للكون-كون، إذا نظرنا إليه من الخارج، سيكون مملاً كمكنة لابلاس.

ولكن كوناً كهذا لن يكون مملاً إطلاقاً بالنسبة لمن يسعدهم الجهل في الداخل. وفي محاولاتنا المتواضعة لإنارة الظلمة، أي جمع المعلومات، فنحن إنما نحطم عالم الإمكانية الخالصة المتناسق إلى حد بعيد-حيث تتعايش بطريقة ما كل الإمكانيات غير المحققة-إلى عالمنا الفوضوي بأشيائه النوعية وحوادثه النوعية. نحن نمزق التماثل عن طريق القياس، ونتائج هذه التجارب الكمومية تحتوي حتماً على بتٍّ متخلف من لا يقينية. وبالنسبة لشيطان لابلاس، الذي ينظر من الخارج إلى الداخل، يمكن أن تكون قياساتنا مجرد عُقَد في المتاهة الأبدية التشعب لفضاء إڤيريت، لأن ملاحظاتنا تسبب انشطار الكون مراراً، مرة مع كل واحدة من النتائج الممكنة. لننظر إلى الأغصان كلها ويبدو أنه لا يحدث شيء. في كون واحد يلف الإلكترون صعوداً، وفي كون آخر يلف نزولاً. ولكن، ونحن ملتصقون بغصننا، مغلقين عن بقية الأغصان، نرى كون المفاجأة الثابتة. وننظر إلى جهاز قياسنا، وهناك تكون فرصة ٥٠% لرؤية لف نازل أو لف صاعد. ولا نستطيع التنبؤ بحدوث أي منهما، فزهر النرد يسقط عشوائياً كما يبدو.

عندما نتأمل السر في كيف يُحدِث الحد الكمومي عالماً واقعياً من قائسين وقياسات، نصطدم بالكثير من المشكلات نفسها التي تثيرها الديناميكا الحرارية. وقد أعيد إلى أرض الواقع التأثير السحري المفترض للمراقب-شيطان ماكسويل الذي بدا أنه قادر ببساطة على توليد حركة دائمة بإجراء القياسات-عن طريق النظر بإمعان أكبر إلى ما يحدث عندما يجمع أحدهم البتَّات ويعالجها. كان مفتاح الحل هو إدراك أن ليس هناك ما هو أثيري بخصوص الذكاء، وأن المعلومات فيزيائية، وأننا كمخلوقات متناهية ندفع ثمن معالجتها-الطاقة التي يستهلكها محو ذواكرنا المحدودة القصيرة الأجل والانطلاق من جديد. ويأمل ڤوجسيتش زيورِك، وموري جل-مان، وآخرون الذين اجتُذِبوا إلى الحقل العلمي الجديد في نيومكسيكو الشمالية، بأنه يمكن إزالة الغموض عن نظرية الكم ودور المراقب بطريقة مماثلة، عن طريق النظر إليهما بلغة المعلومات. وبالعمل مع آخرين حول العالم، يبتكرون تفسيراً جديداً لنظرية الكم والكوزمولوجيا الكمومية. وكلتاهما تُبنيان على سقالة معلومات.

وتبعاً للديناميكا الحرارية ونظرية الكم، هناك عدم توافق بين الصغير جداً-أو على الأقل صورتنا المفاهيمية للصغير جداً-وما نخبُرُه فعلاً. والقوانين على مستوى واحد تسبب قوانين مختلفة تماماً على مستوى آخر. وبمعاينة الجزيئات إفرادياً، نجد أنها تمتثل تقريباً لقوانين الميكانيكا التقليدية، التي هي عكوسة تماماً: يستطيع جسيم أن يتحرك من أ إلى ب بالسهولة نفسها من ب إلى أ. ولكن الجسيمات جملة تسبب تحطيم التماثل النيوتُني: الانسياب الوحيد الاتجاه من النظام إلى الأنتروبيا التي يبدو أنها تولِّد السهم اللاعكوس للزمن. فإذا رأينا طبقة رقيقة فيها قطع من الصلصال المصلَّد تطير معاً لصنع إناء أناسَزي، عندئذٍ يمكن أن نتأكد من أن جهاز الإسقاط يدور رجوعاً.

بالنسبة للموجودين منا في العالم العياني، فإن سهم الأنتروبيا يشير إلى اتجاه واحد لأن المعلومات تتبدد في حفرة لا قرار لها من البيئة. وكسر الإناء يكون لا عكوساً لأننا لا نستطيع تتبع القطع وجمعها مع بعضها ثانية. لقد ضيعنا المعلومات الضرورية لإعادة تركيب الشيء الأصلي. ومن هذه الجهل المتأصل، تنشأ أيضاً كميات كالضغط والحرارة: هي معدلات إحصائية للسلوك الفردي لجزيئات الغاز أكثر مما يمكن لأدمغتنا في أي وقت أن تتطلع إلى تعقبه.

إن الدَّالَّة الموجية الكمومية عكوسة، كمعادلات الفيزياء الكلاسيكية؛ وهي لا تتضمن سهم الزمن. ولكن عندما تُقاس، وتتخذ، على نحو لا يمكن التنبؤ به، قيمة نوعية، فإننا لا نستطيع بعد ذلك إعادة بنائها من الطريقة التي صدف وتحطمت فيها المعطيات أكثر مما نستطيع الذهاب بثقة من ٤ إلى ٢ + ٢ بدلاً منه إلى ٢ +١ + ١. وانكسار دالة موجية لا عكوس يشبه انكسار وعاء. تضيع المعلومات بشكل حتمي عندما نمضي من عالم الإمكانية الصرف المتماثل إلى عالم الواقع اللامتماثل، مما يخلق عشوائية على طول الطريق. وسواء أنظرنا من خلال نظارات كمومية أو نيوتنية، فإن طبيعتنا المتناهية، أي المراقبين، هي التي تُحدِث عالماً عيانياً، حيث تحدث الأشياء، أحدها بعد الآخر، حيثما يسبب البحث عن نموذج عشوائية بصورة حتمية-حيث يكون هناك سهم زمن، لكي لا نستطيع أبداً إنجاز أفعالنا، كما هي حال قياساتنا.

إلى أي مدى نستطيع المضي بهذه المتوازيات؟ وهل يمكن أن تمتلك الكلاسيكية نفسها بعض التكافؤ التقريبي للحرارة والضغط، اللذين ينشآن من جهلنا للتفاصيل تحت المجهرية؟ في رسالة إلى وولفجانج پاولي، رأى هيزنبرج أن "الزمان والمكان هما، في الواقع، مجرد مفاهيم إحصائية،[85] على سبيل المثال، شيء ما يشبه الحرارة، والضغط، وهلمجرا، في غاز. ورأى أن المفاهيم الزمانية والمكانية لا معنى لها عندما نتحدث عن جسيم منفرد، وأنه كلما كانت هناك جسيمات أكثر اكتسبت هذه المفاهيم معنى أكبر. وكثيراً ما أحاول أن أمضي بهذا إلى حد أبعد، ولكن، حتى الآن، دون نجاح."

إن جزءاً من الصعوبة هو الاختلاف الحاسم بين الجهل الكلاسيكي والكمومي، وبين احتمال الديناميكا الحرارية واحتمال الموجة الكمومية. ففي الديناميكا الحرارية، نفترض أن كل جزيئات الغاز ، التي تسبب ذبذباتها ما نسميه حرارة، التي تسبب بدورها ما نسميه ضغطاً، تمتلك، في الواقع، مسارات دقيقة؛ نحن نجهلها تماماً.

[85] -"الزمان والمكان، في الواقع، مفهومان إحصائيان لا غير": رسالة هايسنبرج إلى پولي، ٢٨ تشرين الأول ١٩٢٦، استشهد بها كريس و مان في كتابهما Second Creation، ص ٦٣.

وتفسير كوبنهاجن لنظرية الكم يملي أن جسيماً دون ذرياً لا يُقاس لأنه لايمتلك مساراً.

وهكذا، نواجه من جديد هذا الاختلاف الظاهري بين المعلومات الكمومية–البِتّات الكمومية–والمعلومات الكلاسيكية. ونحن عادة نعتبر المعلومات بوصفها وجوداً *حول* شيء ما. شيء عادي كبِلْيَة *لها* لون، وشكل، ووزن، وحجم–صفات تلازم نوعا ما من مادة تحتية. ولكن ماذا عن المادة التحتية نفسها؟ وعندما نصل إلى ذلك المستوى، فإنه يبدو أن لا شيء هناك سوى الصفات. بِلْيَة *لها* كتلة، ولون، وحجم. ولكن إلكتروناً هو كتلة، ولف، وشحنة. وجسيم يُميَّز تماماً بأعداده الكمومية. كلها معلومات. $\frac{1}{2}$ لفة زائداً ١ وحدة من شحنة سلبية (١.٦٠٢١٨٩٢ × $١٠^{-١٩}$ كولوم) زائداً كتلة ٩.١ × $١٠^{-١٩}$ غ هو إلكترون. هذه ليست مجرد علامات مميزة أو صفات يعرضها شيء ما تحتي. فلا شيء هناك في الأسفل. والبِلْيَة يمكن أن تصغر أو تكبر وتبقى بِلْيَة. ولكن إذا غيرنا صفات الإلكترون، فإنه لن يكون بعد ذلك إلكتروناً. وبِلْيَتان تتمتعان بالصفات نفسها تكونان، مع ذلك، شيئين مختلفين؛ فهما تحملان كسوراً وخدوشاً، أي هويتين مستقلتين. فإذا قُتلَت قطةُ ابنتِنا أو حتى سمكتها الذهبية، فإننا لن نستطيع استبدالها بواحدة مماثلة. ولكن مع الإلكترونات لا توجد مثل هذه المراوغات. فألكترونان يقبلان التبادل بصورة كلية، ككل الأعداد ٣ وكل الحروف C.

في كلا العالمين، الكلاسيكي والكمومي، يمكن أن نتحدث عن معلومات تكون إستاتية ومعلومات يمكن أن تتغير. وإذا تركنا الاعتبارات النسبوية جانباً، فإن كتلة شيء متسارع تكون ثابتة في حين يكون موضعه وكمية تحركه متغيرين. ولكن نعود إلى القول إن هناك اختلافاً مهماً بين الجسيمات الكمومية وما انتهت أجهزتنا العصبية إلى معرفته بوصفه أشياء. فنحن نعتبر الصفات الدينامية للبِلْيَة–هذه المعلومات الإضافية حول الموضع وكمية التحرك–بوصفها شيئاً ما يسافر معها؛ فالمعطيات متأصلة بطريقة ما في البِلْيَة. ولكنها ليست بمثل هذه البساطة مع الأشياء الكمومية. تقول لنا الرياضيات إن إلكتروناً لا يمتلك موضعاً أو كمية تحرك قبل أن يتم قياسه. وحتى عند قياسه، فإن يُمَثَّل ببنى رياضية مختلفة–مصفوفات هيزنبرج، موجات شرودنجر–تقدم احتمال أنه، إذا قيس، سيتخذ موضعاً ما أو كمية تحرك ما. ويبدو كما لو أن الصفات الديناميكية ليست فقط في الإلكترون بل أيضاً في القياس. وفيما يتصل بالبِلْيَة، فإن أي جهل نحمله حول الموضع أو كمية التحرك، إنما ينشأ لأن أدمغتنا لم تسجل المعلومات. والإلكترون معلومات بكامله، ولهذا ربما لا يكون مدهشاً جداً أنه يبقى غير مادي حتى يتم قياسه. فالمعلومات التي لا تسجل هي لا شيء إطلاقاً.

إن محاولة فهم نظرية الكم قادت البعض إلى الاعتقاد بأن الوعي، أو على الأقل عمل القياس، ضروري لإحداث ما نعتبره العالم الحقيقي. ولكن الكثير من العلماء يشكون فيما يتراءى أحياناً كمحاولة أنانية لإعلاء مكانة الإنسانية والعالم الكلاسيكي الذي نعرفه إلى دور خاص غالباً من عطاء الله. وكما يحب جل–مان أن يقول، "عندما ننتهي إلى نظرية الكم، يبدأ حتى الناس الأكثر ذكاء يتحدثون هراء."

إذا أخذنا بمقاربة بعض الناس في سنتافي ولوس ألاموس واعترفنا بالمعلومات بوصفها أساساً آخر، إضافة إلى الكتلة والطاقة، عندئذٍ يمكن رؤية نظرية الكم على ضوء مختلف إلى حد مرهف. وكل ما نحتاجه لكسر تماثل دالّة موجية هو معالجة المعلومات. وعندئذٍ لا يكون المراقبون الواعون وحدهم غير ضروريين، بل إن

النظرية أيضاً لا تحتاج إلى مراقبين اصطناعيين كالمستحلبات الفوتوغرافية أو الخلايا الكهرضوئية. فالكون نفسه يمكن أن يعالج المعلومات تماماً كما يعالج المادة والطاقة. وعلى ضوء هذا، فإن دورنا بوصفنا عناكب إعلامية، ننسج ونكرر نسج شبكاتنا المفاهيمية، يكون طبيعياً كأي شيء في الكون. نضع أنفسنا خارج الكون وندَّعي بأننا نراه وحدة كاملة. ولكن، نكون حتماً جزءاً مما نراقب، ويمكن أن تكون مشاهداتنا مجرد دارة منفردة في شبكة كبيرة من البِتّات المنسابة.

في لوس ألاموس، كان زيورِك وبعض زملائه يدرسون الاختلاف بين القياسات الكلاسيكية والكمومية في محاولة لتحسين الفهم حول كيف نتوصل إلى معرفة العالم. ويقولون إن البراعة تتمثل في تعقب المعلومات. فإلى أين تذهب عندما نقوم بإجراء قياس كمومي؟ يحمل الجسيم الكمومي، إضافة إلى صفاته الإستاتية–الكتلة، اللف–التي تجعله إلكتروناً، أو فوتوناً، أو أي شيء، مركَّباً ضخماً من المعلومات الديناميكية: الدَّالَّة الموجية التي تصور كل حالة ممكنة، وكل مجموعة مؤتلفة ممكنة من الحالات، التي يمكن أن يتخذها. وعندما يُقاس ويتخذ واحدة من هذه الحالات، باستثناء كل الحالات الأخرى، ما الذي يحدث للمعلومات الإضافية؟ هل تتبدد في البيئة تحت تأثير الفعل اللاعكوس للمحو؟

إن الطريقة الوحيدة للإجابة عن هذه الأسئلة هي إعادة دراسة شيطان ماكسويل[86] من كلا وجهتي النظر الكلاسيكية والكمومية. ولنتذكر عرض زيلارد للتجربة الفكرية، التي يُحتبَل فيها جزيء غاز وحيد في اسطوانة. ويقحم الشيطان حاجزاً قابلاً للتحريك في وسط الاسطوانة، ثم يعيِّن الجانب الذي يكون فيه الجزيء، أ أو ب. واعتماداً على الجواب، يتلاعب الشيطان بحبل وبكرة إلى هذا الجانب أو الآخر من الحاجز، بطريقة يعمل فيها كمكبس: يُدفَع الجزيء إليه وينجز العمل. حاول زيلارد أن يثبت أن الطريقة الوحيدة لضمان عدم قيام الشيطان بالعمل مجاناً تكون باقتراح أن هناك كلفة دنيا من الطاقة التي تعنى بمعالجة المعلومات: تسجيل الجانب من الحاجز الذي يكون فيه الجزيء و(كما يُظَن اليوم) محو المعلومات لكي يمكن إجراء قياس آخر.

لنفترض، ونحن ننظر نزولاً إلى الشيطان برؤية عين إله، أننا نريد أن نحسب مدى احتمال أن يكون الجزيء إما في الجانب أ أو ب من القاطع. سنقوم ببساطة بجمع الاحتمالات: فرصة ٥٠% أن يكون في الجانب أ زائداً فرصة ٥٠% أن يكون في الجانب ب يساوي فرصة ١٠٠% أن يكون في الجانب أ أو الجانب ب.

عامل زيلارد جزيء الغاز المنفرد كما لو كان كرة بليارد. ولكن جزيء الغاز الأكثر بساطة، الهيدروجين، لا شيء أكثر من بروتون يتبادل فوتونات مع إلكترون. قبل أن يقوم الشيطان بإجراء القياس، لن يكون الجزيء عملياً في أي من الجانبين، أ أو ب، ولكن في تراكب حالات ممكنة. في النسخة الكمومية للتجربة، لن يكون بعد ذلك حساب لاحتمال أين سيكون الجزيء مباشراً جداً. فنحن يجب أن نجمع أ زائداً ب زائداً حداً ثالثاً يعبر عن حقيقة أنه قبل قياس الجزيء، فإنه لن يكون في أي من الجانبين، أ أو ب، ولكن يكون في كليهما في الوقت نفسه. وتلتحم الإمكانيتان، الجانب أ والجانب ب، معاً في تراكب، وتتداخلان مع بعضهما، "تتماسكان." ولكن، ما أن يقوم الشيطان بقياسه، حتى تنفصل الإمكانيتان "ينفك تلاحمهما." ويتخذ الجزيء إما الموضع أ أو

---

[86] -رواية زيورِك الكمومية لمشكلة الشيطان موصوفة في بحثه "Maxwell's Demom. Szilard's Engin, and Quantum Measurements" فيMaxwell's Demon لـ Leff و Rex.

الموضع ب.

لنفترض أن الشيطان وجهازه هما داخل العلبة السوداء ونحن نتساءل عما يجري في الداخل. قبل إجراء القياس، يكون جهلنا كمومياً كجهل الشيطان، ويتوجب التعبير عنه بالمعادلة الثلاثية الحدود: أ + ب + حد التداخل. وبعد أن يقوم الشيطان بالقياس، نكون نحن، في الخارج، ما نزال لا نعرف الجواب. ولكن ببساطة نعرف أن قياساً حوَّل جهلنا من كمومي إلى كلاسيكي. هنا، يمكن أن نقول إن هناك فرصة ٥٠% في أن يكون الجزيء في الجانب أ أو ب. وبطريقة ما، يختفي البعد الثالث أثناء إجراء القياس. والآن، يمكن القول إن لجسيم موضعاً أو آخر، لا كل موضع ممكن فوراً. ويبدو أن الانتقال من الكمومي إلى الكلاسيكي يتطلب هذا الانفصال للنتائج الممكنة، هذه الظاهرة التي يسميها المنظِّرون الكموميون انفكاك الالتحام.[87]

في نظام كمومي أكثر تعقيداً، سيكون لدينا معادلة أطول فيها حد لكل حالة ممكنة لجسيم، ولكن حد التداخل سيكون دائماً ملحقاً في النهاية، لإظهار كل التجاورات الكمومية التي يمكن تصورها والتي لا نراها أبداً في عالمنا: جسيم في كلا الموضعين 'أ' و'ب'، أو في المواضع 'أ' و'ب' و'ج'، أو في الموضعين 'أ' و'ج'، أو 'ب' و'ج'. وتساءل زيورِك حول ما إذا كان يمكن اعتبار حد التداخل كمعلومات تُمحى عندما نقوض الدالة الموجية. فعندما نقوم بإجراء قياس كمومي، فإن هذه البِتَّات تتشتت بسرعة إلى ما وراء متناولنا. لنتصور الدالة الموجية ككرة من الزجاج. نضربها بمطرقة، فتتحطم. تتألف المعلومات في حد التداخل من تعليمات حول كيف نعيد جمع القطع إلى بعضها. أو، بتوسيع الاستعارة، هي نوع من الغراء الرياضي. في غيابه، تتفكك كل الإمكانيات ونبقى مع حالة مألوفة حيث يمكن لشيء ما أن يكون فقط في حالة واحدة كل مرة.

وباستخدام فكرة الانفكاك هذه—فقدان المعلومات—يمكن أن نرى التجربة ذات الفتحتين، ذلك المثال النموذجي للشذوذ الكمومي، في ضوء جديد. أولاً، لنتصور النسخة الكلاسيكية، التي نعمل فيها برصاصات. تنطلق الرصاصات من بندقية بمدى من المسارات الابتدائية، التي يمر بعضها من الفتحة أ، وبعضها من الفتحة ب. البندقية ليست مثالية، وبالتالي، إذا فتحنا ثقباً واحداً، فإننا نحصل على توزيع للإمكانيات التي يمكن أن تبدو كما يمكن أن يصورها منحنى جرسي. أن ما يقوله لنا هذا المنحنى الجرسي هو أن معظم الرصاصات تحط في المركز، والكثير منها قرب المركز، ولكن تراوحات الفرصة تسبب هبوط القليل منها أبعد قليلاً. وبما أننا نتعامل مع جسيمات كلاسيكية، فإن منحنى الاحتمالية ببساطة يكون 'أ' و'ب'، إذا فتحنا كلتا الفتحتين في وقت واحد. وإذا كررنا التجربة بإلكترونات، وفتحنا الفتحة الأولى ثم الأخرى، فإننا نحصل على كلتا الحدبتين.

يمكن تمثيل هذا رياضياً بمعادلة ثلاثية الحدود أ + ب + حد التداخل—المعلومات التي تسبب النتائج الممكنة للالتحام معاً، مما يسمح للإلكترون أن يتصرف كموجة وينساب من كلتا الفتحتين.

عندما نضع كواشف عند الفتحتين لكي نقيس الطريق التي سلكتها الإلكترونات، فإننا نحصل مرة أخرى على توزيع كلاسيكي ذي حدبتين. فالكواشف تسبب ظاهرياً انفكاك الالتحام. فعندما تقيس الجسيم، مسببة تقويض الموجة، فإن هذه الكواشف تسحب المعلومات الزائدة، أي حد التداخل. وتتشطر الإمكانيات متباعدة ويسلك

[87] -أنجز روبرت جريفِيتس، ورولاند أومْنِس، وإريك جوس، وديتر زاه عملاً رشيماً (من أجل المراجع، انظر الاقتباسات في البحوث التالية لـ زيورِك، وهارتل، وجلّ-مان.) وأفكار زيورِك حول فك الترابط قدمها في بحوثه: Pointer Basis of Quantum Apparatus: Into What Mixture does the wavepacket? و ،environment-Induced superselection.

الجسيم عبر كلتا الفتحتين ‘أ’ و‘ب’. فأين تذهب المعلومات؟ إنها تتبدد في البيئة.

وكتغيير نهائي في التجربة، لنتصور أننا، بدلاً من أن نطلق الإلكترونات عبر فراغ، نطلقها عبر غاز فوتونات كثيف بما يكفي لضمان فرصة معقولة لتفاعل الرصاصات الكمومية مع الوسط. فينتهي التداخل، ونحصل من جديد على النمط الكلاسيكي للتوزيع. بجلاء، نحن لا نحتاج إلى قائس أو حتى إلى كاشف جامد لكي يسبب انفكاك الالتحام. ويبدو أن البيئة نفسها يمكن أن تمتص المعلومات الزائدة وتسبب تفكك النتائج الممكنة.

وهنا يكمن جمال هذا التفسير: ليس هناك مبرر لإعطاء مكانة خاصة لمراقب أو لتقديس فعل القياس. وأي شيء يمكن أن يمتص معلومات يمكن اعتباره كصانع قياس. وتقويض الدَّالَّة الموجية يمكن تحويله من المراقب ووضعه على عاتق البيئة نفسها.

قال زيورِك: "الحقيقة هي أن البيئة ‘تعرف’[88]–لديها سجل. إنها تتحمل عبء تقويض الدَّالَّة الموجية. ويمكن أن نحمِّل العين اليقظة للبيئة مسؤولة الانهيار." أو كما قال في بيانه حول فيزياء المعلومات: "كما لو أن ‘العين اليقظة’ للبيئة التي ‘تراقب’ حالة النظام الكمومي أجبرتها على أن تتصرف بأسلوب كلاسيكي إلى حد فعال."

إن هذه الخسارة للتلاحم الكمومي لا عكوسة، مثلها مثل الانحدار الحتمي من النظام إلى الأنتروبيا. ووفقاً للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، فإن سهم الأنتروبيا يشير إلى طريق واحدة، لأنه عندما يزداد اضطراب الكون، فإن المعلومات تتبدد إلى خارج نطاق إمكانية الاسترداد. فإذا عرفنا السرعة والاتجاه اللذين تطايرت فيهما كل كسرة من الإناء الخزفي المحطم، فإننا نستطيع نظرياً عكس الكثير من مساراتها وجعلها تتعانق من جديد. إن هذه المعلومات المفقودة موجودة هناك في مكان ما: في ذبذبات جزيئات الهواء التي أزعجها تحرك القِطَع. ولكن جزيئات الهواء هذه تزعج جزيئات هواء أخرى وتتبعثر المعلومات.

وبالمثل، لا يمكن تعطيل التحول الكمومي إلى كلاسيكي، لأن المعلومات الإضافية في الدَّالَّة الموجية تتبعثر في كل مكان من البيئة إلى حد لا يمكن استردادها. فجزيئات الهواء في الجو، أي الفوتونات التي تتدفق من النجوم–الإشعاعية الخلفية الكونية موجودة هناك، حتى في المكان العميق المظلم، تتفاعل مع الجسيمات الكمومية، وتسبب انفكاك الالتحام، وتختطف المعلومات الزائدة بسرعة الضوء. وكما يقول زيورِك، لا يمكن للمرء أن يلحق بفوتون. فالبيئة تراقب كل شيء طوال الوقت، مقوضة الدَّالاّت الموجية، مسببة خروج الكلاسيكية القاسية من الهلامية الكمومية.

وكما هي المدينة متخمة بالأصوات، فإن الكون متخم بالمعلومات من هذه القياسات المستمرة. ونحن ببساطة نسترق السمع لكي نسمع الحديث. وكما يقيس ميكانيكي ضغط دولاب سيارة، أو كهربائي فولطية سلك، نستنزف نحن كمية ضئيلة جداً من المعلومات.

دأبنا على اعتبار الاختلاف بين الكمومي والكلاسيكي بوصفه اختلافاً بين الصغير جداً والكبير جداً. وبدلاً من ذلك، يراه زيورِك كاختلاف بين نظام يكون مغلقاً ونظام يكون مفتوحاً. فنظام مفتوح كلياً–النظام الذي لا

-"الحقيقة هي أن البيئة ‘تعرف’": ما لم نُشِر إلى خلاف هذا، فإن كل الاستشهادات من مقابلات مع زيورك أجريت في لوس ألاموس وسنتافي في [88] أيلول، وتشرين الأول وتشرين الثاني ١٩٩٢.

يتفاعل مع شيء–يُمثِّل بتناسق أصلي للدَّالَّة الموجية، مع كل حالة ممكنة وكل مجموعة مؤتلفة ممكنة من الحالات في تراكب، تتداخل الواحدة في الأخرى. يشير زهر نرد، في حالته اللامقيسة، إلى واحد وستة في الوقت نفسه–واثنين وخمسة، وثلاثة وأربعة وخمسة وستة، وهكذا دواليك. ولكن هذه التراكبات الاعتباطية، في نظر زيورِك، متقلبة إلى أبعد حد؛ ويمكن أن تبقى فقط في نظام مغلق. فعندما نكشف النظام–نجبره على التفاعل مع البيئة–فإنها تتبدد بسرعة كبيرة إلى درجة لا يمكن استردادها. وهناك فقط جزء بسيط من النتائج الممكنة التي تتعايش في الدَّالَّة الموجية تكون مستقرة بما يكفي لصمودها مستقلة–النتائج التي تتصرف كلاسيكياً، فيها شيء يمكن فقط أن يكون في حالة واحدة كل مرة.

يبقى هناك الكثير من النتائج الممكنة (ستة للزهر الكمومي) التي تُرِكَت لنا للاكتفاء بها، ولكنها الآن إمكانيات لا يمكن معرفتها. وهكذا نمضي من جهل كمومي إلى جهل كلاسيكي، من عشوائية ملازمة إلى عشوائية متجذرة فيما لا نعرفه حتى الآن. ويعمل التفاعل مع البيئة كمنخل: ينخل الدالة الموجية، مخلِّفاً مجموعة من الاحتمالات الكلاسيكية. وعندئذٍ نبدد جهلنا الكلاسيكي عن طريق قياس المعلومات وكسبها.

يمكن اعتبار البيئة كأي نظام كبير بما يكفي لامتصاص المعلومات الزائدة والتسبب في انفكاك الالتحام. في الواقع، لا يمكن، في ديموقراطية القياس هذه، أن نعرف من المراقب وما المُراقَب. فالفوتون يترك بصمة على شبكياتنا؛ وتترك شبكياتنا بصمة على الفوتون. والقياس ببساطة هو علاقة النظامين، اللذين يبتعدان عن المواجهة مع سجل لبعضهما بعضاً.

ينتج عن كل هذا ما يمكن أن نسميه الوهم الكلاسيكي. فعندما يحدث انفكاك الالتحام، فإن كل أجزاء الموجة–حتى التجاورات الغريبة–تدوي خلال البيئة في مكان ما. ولكن كل ما نخبُره هو فقط النتائج الكلاسيكية، حيث يكون شيء ما في مكان واحد كل مرة. ولأن هذه الحالات الكلاسيكية فقط هي التي تكون مستقرة، ومديدة، ويمكن التنبؤ بها، فإننا نستطيع قياسها دون إزعاجها بصورة أساسية، ونسجل المعلومات في أدمغتنا. وليس هناك مبرر لكي تدرك حواسنا الحالات المتراكبة، التي تتبدد بسرعة كبيرة. إنها لا تعنينا في شيء، فهي غير منظورة بالنسبة لمعالجتنا للمعلومات. وكتب زيورِك: "حواسنا لم تتطور لغرض[89] التحقق من ميكانيكا الكم. وعلى الأصح، تطورت من خلال عملية يلعب فيها بقاءُ الأصلح دوراً رئيساً. وعندما لا يمكن كسب شيء من التنبؤ، فإنه لن يكون هناك مبرر تطوري للإدراك."

يمكن أن يقال عن شيء ما إنه موجود، فقط عندما نستطيع أن نضع سجلات مستقرة لذلك الشيء–ذواكر. وهناك شيئان يجب أن يتركا بصمات على بعضهما بعضاً لكي يكونا حقيقيين بالتبادل–أقصد في الكون نفسه. فانفكاك الالتحام يجعل تبادل المعلومات ممكناً، ومن خلال المعلومات فقط نستطيع أن نعرف العالم.

يسير هذا كله شوطاً طويلاً نحو رسم صورة تنشأ فيها الاحتمالات الكلاسيكية من اللايقينية الكمومية، دون الحاجة إلى مراقبين. فتعاملنا مع هذا المصدر للحالات المقيسة من قبل، "المفككة الالتحام،" ولكن لماذا نجرب فقط واحدة منها؟ في مصطلحات إڤيريت الفنية والكثير من تفسيرات العوالم، نقوم بإجراء القياس ويتجزأ العالم إلى أغصان: في أحدها يكون الجزيء في الجانب أ، وفي أحدها يكون في الجانب ب؛ وستة أغصان لكل دور من

---

[89] من كتاب زيورِك Complexity, Entropy and the Pysics of Information "حواسنا لم تتطور لغرض": ص viii -

زهر النرد. ولكن لا شيء عند إﭭيريت يوضح لماذا نلتصق فقط بواحد من الأغصان.

يعتقد زيورِك بأن انفكاك الالتحام يمكن أن يلمِّح إلى الجواب. ويقول إنه في هذه الديموقراطية لتبادل المعلومات، يجب أن نتذكر أن أدمغتنا أيضاً تُقاس من قبل البيئة. فعندما نراقب زهر النرد، توضع العصبونات لحظياً في تراكب بين كل التجاورات الممكنة. ولكن أدمغتنا ليست أنظمة مغلقة. فالدم يأتي بالغُذَيَّات وينقل الفضلات. وتقوم شبكات العصبونات بإرسال الإشارات إلى بعضها بعضاً. وهكذا يتفكك التحام الحالات الدماغية المتراكبة قبل أن ندركها بوقت طويل. وتُختطَف فوراً الحالات غير الكلاسيكية–زهر النرد الذي يُظهِر في وقت واحد اثنين، وخمسة، وستة. ويُترَك الدماغ، كزهر النرد تماماً، مع عدد من الحالات الكلاسيكية المقيسة من قبل، أي أغصان إﭭيريت. ولكن، هنا تكمن النقطة الحيوية للحجة: سيكون هناك فقط غصن واحد يقول فيه زهر النرد ستة ودماغنا يقول ستة. ذلك هو الغصن الذي ندرك أنه حقيقي.

"انفكاك الالتحام يمنع دماغنا من إدراك هذه التراكبات الطريفة." قال زيورِك. "هناك فقط اختيار واحد أرى فيه الكأس هنا وهو يكون هنا. وهكذا، نكون في حالة واحدة للعقل في أية فترة واحدة وحالة العقل تلك ترتبط بحالة واحدة للكون.

"إنه نوع من عكس المراقب الذي يخلق واقعاً. ويعمل الكون، من خلال حواسنا، على تعديل السجل في دماغنا."

في حين يحاول زيورِك استخدام انفكاك الالتحام لفهم مشكلة القياس الكمومي، يحاول بعض الفيزيائيين تطبيق الفكرة على الدَّالَّة الموجية الأساسية أكثر من كل الدَّالاّت–الدَّالَّة الموجية التي يقال إنها انبثقت من الانفجار الكبير. ويعتبر زميل زيورِك والشريك الفكري المناوئ، موري جل–مان،[٩٠] تفسير زيورِك تحسيناً هائلاً أكثر من أولئك الذين يقدسون فعل الوعي أو القياس. ولكن يشعر أنه يجب تعميم انفكاك الالتحام لكي يستخدم في الحقل المجرد إلى أبعد حد للكوزمولوجيا الكمومية. وأثناء عمله مع جيمس هارتل،[٩١] وهو كوزمولوجي مشارك في جامعة كاليفورنيا في سنتا بربارة ومعهد سنتافي، حاول جل–مان أن يستنتج أن الكون، في أول لحظة، كان لا شيء سوى كتلة بدائية، ليست أكبر من جسيم دون ذري، انبثق من الفراغ.

إن عالماً صغيراً جداً يجب أن يمتثل بحق للقوانين نفسها كفوتون أو إلكترون. ولكن كيف أمكن للدَّالَّة الموجية لهذا "الجسيم" السلفي، مع كل قصصه الممكنة التي تحوِّم في تراكب، متداخلة مع بعضها بعضاً، أن تُحدِث عالمنا الخاص؟ وتفسير كوبنهاچن القديم لنظرية الكم لا يمكن أن يباشر الإجابة عن السؤال. "ما الذي قيس عندما كان الكون بحجم جسيم أولي؟"[٩٢] سأل هارتل. "لا يستطيع المرء أن يقسم النظام إلى مراقب ومُراقَب." جميل أن يتحدث المرء بلغة الأنظمة المغلقة التي تصبح مفتوحة، وتتفاعل مع بيئتها. ولكن الكون تحديداً، لا بيئة له. وليس هناك شيء خارجه. فكيف نفكر بانفكاك تماسك في نظام يبقى مغلقاً إلى الأبد.

وبدلاً من الحديث عن البيئة، يفضل جل–مان أن يصوغ نظرية الكم بلغة ما يسميه التحبب الخشن. يستطيع

---

[90] وصفت أفكار جلّ-مان حول نظرية الكم وفك الالتحام لمستمعين علمانيين في الفصل ١١ من الكتاب - The Quark and the Jaguar.

[91] في Quantum Michanics in Kight of Quantum cosmology، من أجل وصف عمل جلّ-مان وهارتل حول فك الالتحام، انظر بحثهما Complexity, Entropy and the Physics Of Information لـ Zurek وانظر أيضاً The Quantum Mechanics of Closed Systems لـ James Hartle.

[92] "ما الذي قيس عندما كان الكون": هذا الاقتباس وكل الاقتباسات التالية من حديث مع هارتل في كانون الأول ١٩٩٢ في سنتافي-

المرء دائماً أن ينظر إلى نظام ما بمستويات مختلفة من التجريد. فوصف دقيق الحبيبات جداً لشاطئ ما سيتضمن موضع كل حبة من الرمل. ولكن إذا نظرنا من موقع ممتاز أعلى، فإن التفاصيل تختلط معاً، وتصبح حبات الرمل امتداداً منبسطاً بني اللون. وفي هذا المستوى الأكثر خشونة للوصف، تظهر صفات مختلفة: شكل الخط الساحلي، ارتفاع الكثبان. فهل يمكن أيضاً للصفات التي نسميها كلاسيكية أن تظهر بهذه الطريقة، أي ناتج لوجهة نظر المرء؟

إن وصفاً دقيق الحبيبات للكون، بأكثر ما يمكن من الدقة، يمكن أن يتضمن كل وضع يمكن أن يتخذه كل جسيم في كل لحظة في الوقت المناسب. (أو الوصف الذي يمكن أن يتضمن كل كمية تحرك ممكنة لجسيم- مبدأ اللايقينية لهيزنبرج الذي يعترض كل معرفة لكليهما.) في هذا الوصف الأكثر تفصيلاً، يجب تفسير كل المعلومات في الدَّالَّة الموجية، وكل القصص الممكنة يجب أن تحوِّم معاً في تراكب. وكالقصص الممكنة في التجربة ذات الفتحتين (جسيم من طريق الفتحة أ، وجسيم من طريق الفتحة ب، وجسيم من طريق الفتحتين ‘أ’ و‘ب’) التي يتداخل بعضها ببعض، مما يستحيل معه تحديد الاحتمالات الكلاسيكية. وفي حالة الإمكانية الصرف هذه، لا معنى للقول إن جسيماً يمكن أن يكون هنا أو هناك. ولكن إذا نظرنا إلى الكون من خلال شبكة أكثر خشونة-متعقبين فقط بعض الأشياء ومتجاهلين كل ما عداها-فإن تفاصيل وصفنا تغيم معاً كحبات الرمل على الشاطئ. وإذا كان الوصف خشناً بما يكفي وأُنجِز فقط من الزاوية الصحيحة، فإن مصطلحات التداخل تكفي لشطب بعضها بعضاً. وتُجرَف المعلومات الإضافية. هنا، يمكن أن نقول إن جسيماً موجود في مكان واحد أو آخر وليس في كل مكان ممكن في وقت واحد.

إن الوصول إلى عالم الوجود اليومي، كما يرى جل-مان، يتطلب أيضاً مستوى آخر من التحبب الخشن. فنحن نعيش في عالم حيث كثيراً ما تكون التأثيرات الكمومية مهملة، أي حيث يمكن تقريب حركة الأشياء بدرجة دقيقة إلى حد لافت للنظر بواسطة الميكانيكا النيوتُنية-عالم يسميه جل-مان العالم الشبه كلاسيكي، الذي يذكرنا بأنه لا شيء فيه نيوتني صرف. والصفة التي تترك هامشاً لهذا الاستقرار هي العطالة: يجب أن تكون لدينا أشياء كبيرة بما يكفي لمقاومة التشوشات الصغيرة جداً كتلك التي تسببها الفوتونات التي تصطدم بها. وهكذا، يجب أن يكون الوصف خشناً بما يكفي لكي تقيم الجسيمات مع بعضها بعضاً في أشياء ككرات البليارد والكواكب.

والآن، يمكن أن يبدو هذا ذاتياً قليلاً. من هو الذي يبتكر هذه الأوصاف، هذه التحببات الخشنة؟ هل هم الفيزيائيون؟ هل هو الإله؟ ولكن جل-مان يقول لنفترض أن هناك مستوى للوصف خشناً بما يكفي لانفكاك كل القصص الممكنة، وخشناً بما يكفي لنشوء العطالة، ولكن ليس أكثر خشونة بمقدار ذرة. يمكن اعتبار هذا الحقل للتحبب الخشن "الأكمل" كسمة موضوعية للكون، ليست منوطة بالحَسَر عند مراقب خاص. ومن هذا الموقع الممتاز ينظر الفيزيائيون والفلكيون إلى الخلق.

إن تفسير جل-مان أكثر عمومية من تفسير زيورِك. فالمعلومات التي تم تجاهلها في التحبب الخشن يمكن اعتبارها كبيئة. وأياً كانت الطريقة التي ننظر فيها إلى انفكاك الالتحام، فإن النقطة الأساسية هي أن المعلومات الكمومية تضيع بطريقة ما، مما يبعد التداخل الكمومي ويسمح بنشوء عالم شبه كلاسيكي.

ولكن ما كل كون متخيل سينفك تلاحمه. ففي الدالة الموجية البدائية التي تنبثق من الانفجار الكبير، تتعلق في تراكب كل القصص الممكنة–هذه الأكوان المحتملة. وبعضها فقط يمكن أن يكون خشن الحبيبات بطريقة تنشطب فيها مصطلحات التداخل، وتبقى أخرى عالقة في حد كمومي. وإذا كان شكل موجي كوني يتضمن قصصاً كقصصنا، فإن فك التماسك يعتمد على الشروط الابتدائية للانفجار الكبير، أي الطريقة التي ثُبِّتَت فيها المسكات في اللحظة التي بدأ فيها التمدد.

إن واحداً من الأهداف الرئيسة لكوزمولوجيا الكم هو نظرية الشروط الابتدائية للكون، وهو منطق مُلزِم بخصوص لماذا توجب تثبيت المسكات بطريقة معينة. وسواء كنا نحاول أن نصف مسار سهم يرسم قوساً مكافئيّ المقطع قبالة السماء أو على مدار الأرض حول الشمس، فإن قوانين فيزيائنا تُصاغ في شكل معين. ومن الطرف الذي يمكن أن نعتبره كَدَخْل، هناك شقوق للشروط الابتدائية، وهي الحالة التي يكون عليها شيء ما في زمن معين. ولنفترض أن الموضع في الزمن *t* معلوم لدينا، ونريد أن نعرف الموضع بعد خمس ثواني. عندئذٍ، ندس الأعداد في المعادلة ونفتح مجموعة الدارات الكهربائية الرياضية، فينبثق الجواب من الطرف الآخر. فالقانون يكون عديم الفائدة إذا كنا لا نعرف الشروط الابتدائية.

ولكن، من أين جاءت الشروط الابتدائية؟ نحن نقيسها طبعاً، ولكن ماذا لو أردنا شرحاً حول كيف تنشأ؟ فإذا استخدمنا المعادلة للاستقراء رجوعاً، فإنه يمكن أن نُقدِّر الشروط في زمن مبكر أكثر. وإذا تحركنا رجوعاً إلى زمن أبعد، فإنه يمكن أن نُظهِر أن هذا يعتمد أيضاً على شروط مبكرة أكثر. ولكن تراجعنا يجب أن يتوقف في نهاية الأمر: التراجع الأبعد الذي يمكن أن نقوم به، في حالة السهم، هي الشروط التي انطلق بها من القوس. وكيف نشرح أصل هذه البارمترات؟ نستطيع ذلك فقط بدراسة القوس والرامي. وما لم تتوفر لدينا الرغبة في أخذ هذه التفاصيل كمعلوم، فإننا سوف نُدفَع إلى شبكة واسعة للاحتمالات التي تآمرت على وضع سهم من هذا النوع في يدي رامٍ بهذه الصفات عند هذه النقطة في الزمان والمكان.

وفي حالة الأرض، يمكن أن نقتفي أثر الشروط الابتدائية رجوعاً إلى الحركة الدُّوامية لسحابة الغبار الكوني التي يقال إن النظام الشمسي تجمد منها. وإذا أردنا أن نعرف لماذا كانت السحابة تتحرك بتلك الطريقة، فإنه يجب أن نستقرئ رجوعاً إلى زمن أبعد، وصولاً في النهاية إلى الانفجار الكبير. وعلينا دائماً أن نتوقف في مكان ما ونأخذ الشروط كمعلوم. وبخلاف ذلك، يجب أن يدخل تاريخ الكون في كل حساب.

ليس صحيحاً أن ماضي شيء خاص يُختصَر بالشروط الابتدائية. والنظام الكلاسيكي ليس جزيرة، لكي يعكس كل قياس للأرض في مدارها أو لسهم يسقط عبر الهواء التشوشات الثقالية لباقي الكون، أي الشد البعيد للنجوم. إن ظواهر هذه الشبكة الواسعة للتأثير، التي يمكن أن نجمعها معاً ونسميها البيئة، مُتَضَمَّنَة في الشروط الابتدائية وندسها في المعادلات. وتعمل الشروط الابتدائية كبديل لكل شيء نهمله.

ولكن، كيف يجب أن نعتبر الشروط الابتدائية للكون، للانفجار الكبير نفسه؟ هنا آخر الشوط، حيث يجب أن تنتهي كل التراجعات. فالكون، بالتعريف، هو كل شيء. ولا شيء خارجه. وإذاً، يجب أن تكون الشروط الابتدائية جزءاً من القوانين الأساسية.

منذ أيام السير آرثر أدينجتون، في السنوات التي سبقت الحرب العالمية الثانية، دُهِل علماء الفيزياء الفلكية

بصحة الحالات التي يبدو فيها الكون طيباً جداً. وكل من يتابع الكتابة العلمية المبسطة سمع اللازمة التالية: لو كانت سرعة التمدد أبطأ قليلاً، لانهار الكون على نفسه إلى الداخل؛ ولو كان التمدد أسرع بقليل، لما كان هناك وقت تتشكل فيه بنىً كالمجرات. ولو كان هناك شيء يسمى "ثابت البنية الدقيقة،" أي مربع شحنة الإلكترون مقسوماً على سرعة الضوء مضروباً بثابت بلانْك، لاختلف عما هو عليه بحدود ١%، وعندئذٍ لن يكون تمييز الكون ممكناً، وربما غير صالح لسكنى أي شيء ضئيل مثلنا. هذه هي أنواع التوافقات الكوزمولوجية التي أثرت على ديل كوهلر، عالم الحواسب الشاب، بطل رواية Roger's Version لجون أَبْدِكّ.

وماذا عن الشروط الابتدائية التي أدت إلى كون كالكون الذي نراه اليوم؟ كون يبدو متجانساً تماماً، عندما ننظر إليه من الشبكة الخشنة لمناظيرنا–تبدو الأشياء متشابهة تقريباً أيا كانت الطريقة التي ننظر فيها إليها. كون يبدو "مسطحاً" تقريباً، مع كثافة صحيحة للكتلة لكي يبقى متوازناً بدقة بين مفتوح (يتمدد إلى الأبد) ومغلق، محكوم بانهيار نهائي. كون تترابط الإمكانيات فيه مع بعضها بعضاً في دالَّة موجية ينفك تماسكها، مُحدِثة مجالاً كلاسيكياً.

كيف تم تثبيت المسكات بهذه الطريقة؟ ولماذا نحن محظوظون جداً؟ وعلى الرغم من كل الظروف المضادة، لماذا نحن هنا، مزودين فيما يبدو بالمعدات العصبية والرياضية لكي نفهمها كلها (أو، على الأقل، نتوهم ذلك)؟ شكلت هذه التوافقات الظاهرية عزاء لأولئك الذين يبحثون عن دليل علمي على وجود إله كلي القدرة، خلق الكون كما هو. ووجد أولئك الذين انجذبوا لسارتر أكثر من الكتاب المقدس متعة في تفسير آخر: نحن ضرباتُ حظٍّ لكونٍ عشوائي، عديم الشعور. ولو كانت الشروط الابتدائية قد انطلقت بطريقة أخرى، لما كانت هناك نجوم، ولا كواكب، ولا فلكيون.

في السنوات الحديثة، عكس العلماء هذا المنظور، بالنظر من خلال الطرف الآخر للتلسكوب. فبدلاً من محاولة توضيح كيف أوجد الكون الحياة، فإنهم يبدؤون بالحياة كمعلوم ويعملون بالطريقة الأخرى. ومع التسليم بأننا موجودون هنا، فإن الشروط الابتدائية كان يجب أن تكون طريقة موثوقة. هذه المقاربة تسمى المبدأ الأنثروبي[٩٣] الضعيف تمييزاً له من النسخة الأقوى. إن الواقع، في الترجمة الأضعف، لا يخلقه المراقبون، أو يكونون جزءاً من دارة تكافلية يوجِد الكونُ فيها المراقبين الذين يوجِدون الكون عن طريق تقويض الدَّالَّة الموجية. والادعاء ببساطة هو أن وجود المراقبين الذي يضع بعض القيود على الشروط الابتدائية، يضيِّق البحث.

حتى هذه النسخة الأضعف للمبدأ الأنثروبي تبدو للبعض تكرارية إلى حد يدفع إلى الجنون: كان يجب أن تكون الشروط الابتدائية طريقة موثوقة، لأنه، بخلاف ذلك، ما كان لنا أن نكون هنا لكي نتساءل حولها. يجد البعض الفكرة مقنعة أكثر إذا كانوا مستعدين لقبول الحجة القائلة إنه ليس هناك فقط كون واحد، بل أكوان كثيرة، وربما عدد لا متناهٍ، كل منها ينشأ من مجموعة مختلفة من الشروط الابتدائية. وجزء ضئيل جداً فقط من هذه الأكوان يولِّد حياة. وعندئذٍ تكون حقيقة أن الحياة تنشأ في هذا الكون ليست أكثر أهمية من حقيقة أن المدن تميل إلى النشوء عند ملتقى الأنهار. وتبقى هناك صحارى واسعة–أكوان غير صالحة للسكنى–حيث لا يتفتح شيء.

---

[93] تم تحري المبدأ الأنثروبي إلى أعماق بعيدة في The Anthropic cosmological Principle لـ John Barrow و Frank Tipler.

يمكن أن نعتبر كلاً من هذه الأكوان كإمكانيات أكثر منها حقائق، كممرات عبر فضاء إڤيريت. أو يمكن أن نأخذها بحرفيتها التامة. فنسخة نظرية الانفجار الكبير التي تسمى السيناريو التمددي، توحي بطريقة يمكن أن تكون تشكلت فيها أكوان متعددة: بعد لحظة من الانفجار الكبير، يمكن أن تكون رقعة صغيرة جداً من الزَّمَكان خضعت لتمدد مفرط، منتفخة إلى كون كامل. وهكذا، فإن مجموعة اعتباطية من الشروط الابتدائية العشوائية ستتضخم إلى ما يثير دهشتنا بوصفها قوانين وثوابت طبيعية. ليس هناك مبرر لعدم تكرار حدوث هذا، بما يؤدي إلى خلق من الأكوان، كل منها مسدود عن الأخر بالحد الأعلى لسرعة الضوء وكل منها يعمل وفقاً لفيزياء مختلفة. أو يمكن لأولئك الذين يعتقدون بأننا نعيش في كون متذبذب، بُعَيْدَ انفجار كبير يتلوه انسحاق كبير يتلوه من جديد انفجار كبير، أن يفترضوا أنه يعاد ضبط العدادات كلما بدأت الدورة من جديد. في هذه الرؤية، امتدت الأكوان في الزمان أكثر من المكان. وبصورة طبيعية، نجدنا نعيش في تجسد حيث القوانين تحابي الحياة. ولكن هذه القوانين، التي نتبناها باعتبارها مقدسة، ستكون حوادث عرضية. فكتل الجسيمات، وحقيقة أن هناك ثلاث عائلات من الكواركات، وأربع قوى، وحتى حقيقة أن هناك ثلاثة أبعاد مكانية (من عشرة اقترحتها مراوح الأوتار الفائقة)، كلها يمكن أن تكون حوادث عارضة متجمدة، أي نتائج زهر النرد التي يمكن بسهولة أن تحط بطريقة أخرى.

أما بالنسبة لأولئك الذين يجدون فكرة تعدد الأكوان خيالية جداً أو المبدأ الأنثروبي غير مقنع، ولكنهم مستعدون لاعتبار الحياة كمعجزة أو ضربة حظ، فهناك ملاذ آخر. فيمكنهم أن يختاروا المقاربة التي أيدها هارتل، وجل-مان، وستيفن هوكنج،[94] وآخرون ويبحثون عن مبدأ ما عميق، منطق داخلي يُملي أن الشروط الابتدائية يجب أن تكون طريقة موثوقة. فعندما ننظر إلى الكون من خلال مجموعة خاصة من المشاهد، فإننا نرى قوانين ونرى شروطاً ابتدائية. ولكن لماذا يجب أن تنطبق هذه الثنائية على منشأ الكون؟ فإذا أمكن اكتشاف طريقة لإظهار أن وضعيات معينة فقط كانت ممكنة للمسكات، عندئذٍ تكون فكرة القوانين وفكرة الشروط الابتدائية هي نفسها. وما تزال المسافة طويلة بين الكوزمولوجيين وقانون كهذا، الذي سيرقى ليس إلى أقل من وصف دقيق للدَّالَّة الموجية التي تصف الانفجار الكبير. "الموضوع في حالة أولية تقريباً،" قال هارتل. "يبدو مشجعاً ولكن المسيرة طويلة."

فعلى سبيل المثال، هناك مشكلة الزمن. فالدَّالاَّت الموجية تتطور مع الزمن، ولكن هندسة الزَّمَكان في اللحظات الأولى للكون لم تكن ثابتة، بل كانت تخضع للتراوحات الكمومية. "إذا كانت لدينا نقطتان، فإنه لا نستطيع أن نعرف إذا كانتا منفصلتين كمكان أو منفصلتين كزمان،" قال هارتل. "وهكذا، وبمعنى ما، فإن الزمن، بوصفه فكرة ثابتة، يتعطل. هذا يعني أنه يجب أن نعمم ميكانيكا الكم إلى حد أبعد لكي لا تتطلب زمناً مفضلاً."

اقترح هارتل، بالتعاون مع ستيفن هوكنج، نظرية الشروط الابتدائية-دالَّة موجية للكون- التي لا يمكن فيها، في البداية، تمييز الزمان والمكان بسبب التأثيرات الكمومية. إن معظم السيناريوهات تدرس الكون بوصفه مخروطاً يتمدد من مفردية تسمى الانفجار الكبير. في هذه الصورة، يُمثَّل الزمن بالمحور العمودي، هو ارتفاع

---

[94] ، وفي حوالي نهاية الفصل الثامن من The Mind of God لـ Paul Devies -وصفت نظرية النشوء لهوكنج وهارتل في الفصل الثاني من كتاب كتابBrief History of Time لـ Hawking.

المخروط، في حين تُمثِّل الأبعاد المكانية للكون بمحيط المخروط. فإذا تتبعنا امتداد محور المخروط، فإننا نجد الدائرة تصبح أكبر وتتكون لدينا فكرة كون يتمدد في الزمن. ولكن هناك شيء ما اعتباطي وغير أنيق بشأن كون يبدأ في لحظة دقيقة. فلماذا بدأ آنذاك ولم يبدأ في وقت ما آخر؟ وإذا كان الزمان، كالمكان، بدأ بالانفجار الكبير، كما يعتقد معظم الكوزمولوجيون، عندئذٍ ماذا يمكن أن يكون معنى قولنا إن الكون خُلِق في لحظة معينة؟

إن قاعدة المخروط، في صورة هوكنج–هارتل، ليست أحدية مفردية بل نصف كرة. وعلى هذا السطح المنحني، ينحني الزمان، أي الاتجاه العمودي، هنا وهناك، إلى درجة لا يمكن معها تمييزه من الأفقي، أي الأبعاد المكانية. والزمان، كالمكان، هو ببساطة اتجاه على سطح نصف الكرة الرباعي الأبعاد. ويمكن القول إن الكون يمكن أن ينفتح من أية نقطة على هذا السطح. بعد هذا، لن يكون هناك معنى لقولنا إن الكون بدأ في لحظة معينة في الزمان أكثر من قولنا إنه بدأ في نقطة معينة من المكان. ولكنه بدأ؛ وعندما انفتح، انشطر الزمان تدريجياً من المكان–انقطع التماثل بينهما–ليتركنا مع ما يسميه أيْنشتاين الزَّمَكان. وفي حين يبدو أن الكون المخروطي العتيق الطراز يتطلب شيئاً ما خارجه لـ "تقرير" متى يجب الضغط على زر الخلق، فإن هارتل وهوكنج أكدا بأن كونهما تام في ذاته رياضياً. وكما يحتج جل–مان، فإنه يمكن استنتاج الدَّالَّة الموجية لهارتل وهوكنج من نظرية الأوتار الفائقة، التي تشير إلى أنه يمكن ربط فيزياء الجسيمات والكوزمولوجيا بانحناء واحد.

ما تزال هناك أسئلة دون جواب أو لا يمكن الإجابة عليها. ومع أن النظرية تتفادى الحاجة إلى خالق من الخارج، فإنها تفرض مقدماً الوجود السابق لنظرية الكم والرياضيات. ومن جديد، تتسلل من الباب الخلفي فكرة عالم سفلي أفلاطوني خارج نطاق الزمان والمكان. ويبدو حتى الآن أن أفضل برهان للنموذج هو جاذبيته الجمالية لدى من يبحثون عن نظام منسجم مع نفسه متضمن كل شيء. فإذا كنا نريد كوناً لم يبدأ بصورة اعتباطية في لحظة معينة، فإنه يمكن أن نقصر بحثنا على الدَّالاَّت الموجية البدائية التي تسلك كمخروط هارتل وهوكنج الكروي. وإذا كنا نريد قصة للخلق يمكن أن تفسر لماذا يختلف كثيراً العالم الذي نعيش فيه عن العالم الذي تولِّده معادلات نظرية الكم، عندئذٍ، يجب أيضاً أن نقصر بحثنا على الدَّالاَّت الموجية القادرة على تفريخ أكوان مفككة التلاحم.

ولكن دالَّة موجية وحدها لا تكفي لتفسير كيف وُجِد كوننا، بفرط تفاصيله. وقد أظهر جل–مان، بطريقته الثمانية وتحسيناتها اللاحقة، كيف نخفض مئات الجسيمات دون الذرية إلى حفنة من الكواركات: في جذور التعقيد كانت البساطة–إذا كنا مستعدين للتسليم بأن ست نكهات لكواركات، يوجد كل منها في ثلاثة ألوان ويرقص مع ثمانية أنواع من الغُلْيونات، تجعلها مؤهلة كنظام بسيط. وفي سنوات أحدث، كان جل–مان يحدق في اتجاه آخر ويتأمل كيف أن البساطة تولِّد التعقيد. وهذه هي المسألة التي دفعته إلى المساعدة التي وجدها في معهد سنتافي. وعبر عن ذلك بالسؤال، كيف نمضي من الكوارك إلى اليَجْوَر jaguar [٩٥]؟ وكيف أصبح الكون مكاناً ممتعاً للعيش؟ في تطوير نظرية التعقيد، يفترض الفيزيائيون أنه كان هناك، في البداية، معلومات قليلة جداً، فقط بضع تركيبات بسيطة لمسكات سماوية. كيف وصلنا إلى كون مكتظ ببنية، بمجرات ومجرات لمجرات؟ هذا هو السؤال الذي عذَّب الكثير جداً من الكوزمولوجيين، مما أجبرهم على ابتكار مادة مظلمة أكثر فأكثر. وفي

---

[95] لعله النمر الأمريكي الاستوائي المرقط.المترجم.

كوزمولوجيا الكم، يظهر السؤال بشكل آخر أساسياً أكثر.

"وفقاً لخلفية الموجات الدقيقة، التي تكون قريبة بقدر ما نستطيع أن نحصل على صورة للكون في المرحلة المبكرة، لا توجد عملياً بنية أياً كانت،" قال هارتل. "ما يظهر هو كون مبكر من بساطة رائعة. وإذا كان هناك قانون بسيط للشروط الابتدائية، فإنه لا يمكن أن يحتوى على معلومات كثيرة، ولذلك لا يمكن بالتأكيد أن يصف التعقيد الحاضر الذي نشاهده حولنا."

في الواقع، إن تفسيراً تتضمن فيه الدَّالَّة الموجية للكون بطريقة ما المعلومات من العالم الكلاسيكي سيشكل نظرية متغيرة خفية، تقتضي ضمناً نوعاً من تأشير فائق النصوع. والمتضمن هو أن تعقيد الكون لم يُشَفَّر في البداية ولكن يُحقَن على امتداد الطريق. "التعقيد الذي نشاهده حولنا ينشأ، على الأغلب، من الحوادث العرضية لتاريخنا الخاص،" قال هارتلة، "أي الدحرجات الخاصة لزهر النرد الميكانيكي الكمومي التي حدثت منذ البدء."

ربما كانت السمات المضطربة لكوننا–التسطح الكوزمولوجي، حقيقة انفكاك الالتحام–متضمنة في الشروط الابتدائية للانفجار الكبير. ولكن التفاصيل الصحيحة–ترتيب الكواكب في النظام الشمسي، شكل درب التبانة–هي الحوادث العرضية التي تنشأ من سلسلة الانشطارات الكمومية.

"نحن، في كوزمولوجيا الكم، لا نتوقع أن نتنبأ من الدَّالَّة الموجية للكون وحدها إذا كان أحدهم يجلس في ذلك الكرسي أو كرسي آخر، أو عدد الكواكب في النظام الشمسي، أو الترتيب الخاص للمجرات في السماء،" قال هارتل. "معظم الأشياء لا يمكن التنبؤ بها من الشروط الابتدائية وحدها ولكن من الشروط الابتدائية زائداً الحوادث الخاصة التي حدثت في تاريخنا الخاص."

إن تاريخ محاولة فهم العالم حافل بالأساسيات الأثيرة التي تم فيما بعد التخلي عنها باعتبارها، مع ذلك، ليست أساسية جداً: رفض كوبرنيكوس لمركزانية الأرض، ورفض النظرية النسبية العامة لأيْنشتاين للهندسة الإقليدسية، مع زمكانها المنحني؛ وخرق نظرية الكم للجدار بين الذاتي والموضوعي؛ وقد تكون كوزمولوجيا الكم على وشك التخلص من التمييز بين الشروط الأولية والقوانين. وكما قال جل–مان في خطاب له في معهد سْميثْسونيان، عام ١٩٨٧، من أن الأفكار الجديدة المهمة تترافق دائماً تقريباً بـ "متاع فكري غير ضروري،"[٩٦] أي آراء سبقية يجب أن نتخلى عنها إذا كنا نريد الوصول إلى فهم أعمق.

رأينا كيف استنتج بعض الكوزمولوجيين أنه لا يمكن أن نفهم الكون ما لم نفترض أن حوالي ٩٩% منه غير مرئي. وفي محاولة أخرى لضغط الخلق إلى مجموعة من المعادلات، يُطلَب منا أن نفهم العالم الكلاسيكي بوصفه انحرافاً، حالة خاصة لتلك التي تُعتبَر أسمى: معادلات نظرية الكم. وما نسلِّم به جدلاً يبدو أقل وأقل أهمية طوال الوقت.

ومع ذلك، هناك شيء من العزاء بشأن المضمون الآخر لهذا السيناريو: فكرة أن طرق جمع المعلومات قد تكون متضمنة في الانفجار الكبير، الذي سُجِّل في الشروط الأولية. وبعض التركيبات الأولية فقط ستولِّد أكواناً يكون فيها انفكاك الالتحام ممكناً وبالتالي عالماً ذا مجال كلاسيكي، حيث يمكن إقامة حواجز، والانهماك في

---

[96] الذي ألقي في الاحتفال بالميلاد الستين لجلّ-مان في كالتك.Exess Baggage - "متاع فكري غير ضروري": اقتبسها هارتل في بحثه

تحبب خشن، وفصل الذاتي عن الموضوعي، ومعالجة المعلومات-عالماً منظماً بما يكفي لنشوء أنظمة جمع المعلومات واستخدامها، أي "إجيوزات Iguses،" كما يسميها هارتل وجل-مان.

وهكذا، وبمعنى عام جداً، ربما لا نكون ضربات حظ للكون. والشكل الخاص الذي اتخذناه يمكن أن يكون نتيجة لسلسلة من الحوادث العارضة، أي سلسلة متفرعة من التوافقات. ولكن حقيقة أننا نعيش في كون يضع في اعتباره معالجة المعلومات يمكن أن يكون نتيجية ضرورية (أو، على الأقل، محتملاً بدرجة عالية) للشروط الأولية. نحن لسنا بحاجة إلى مبدأ أنثروبي، قوي أو ضعيف، لكي نأخذ راحتنا. فإذا كنا قد أُعطينا كوناً يضع في اعتباره الكلاسيكية-حيث يمكن قياس الأشياء دون وضعها منحرفة إلى حد يائس-فإنه ليس مدهشاً أن تظهر إجيوزات من صنف ما لاستغلال الوضع، كائنات تعيش بعيداً عن المعلومات.

إذا حجزنا مجموعة من كرات البليارد وقذفنا الكرة المدفوعة لتتدحرج بسرعة نحوها، فإن الكرات ترتد عن الكرات وعن حواف الطاولة. ولكن الارتداد يتوقف بسرعة. وإذا دخلنا إلى حجرة البولة ورأينا الكرات المتناثرة على اللباد، فإنه لا يمكن أن نعمل رجوعاً ونحسب الشروط الابتدائية: كيف ومتى تم ترتيبها على الطاولة. ولكن، على الرغم من ذلك، تتوقف الكرات، وتواصل البِتَّات طيرانها. كم كانت سرعة الكرة الصفراء عندما اصطدمت بالكرة الحمراء، وفي أي مكان من الطاولة قفزت الكرة الخضراء وبأية زاوية-كل هذه معلومات تنتشر في البيئة على شكل حرارة. ومع أن الإشارة تصبح أضعف وأضعف، فإن أصداءها تبقى؛ لقد أُعيد ترتيب الجزيئات في البيئة، أي أن سجلاً قد تكوَّن. يمكن أن نتخيل حيواناً حادَّ الإدراك يستطيع أن يقيس التغييرات التي تسببها الذبذبات الحرارية للجزيئات، وعندئذٍ نستخدم البيانات المتجمعة للحساب رجوعاً وإعادة بناء بدء اللعبة. ولنتذكر كأس الماء لماكسويل الذي أفرغه في البحر. فهو، في الواقع، لم يَفْنَ. ونحتاج فقط إلى المال الكافي لاقتفاء أثر كل الجزيئات واستردادها.

والمعلومات التي انتشرت أثناء انفكاك الالتحام لا تختفي. وتبقى في مكان ما من الكون، كعروض التلفزيون التي تنتشر في الفضاء إلى الأبد. إن كائناً يستطيع متابعة كل بِتٍّ من المعلومات التي يتم تصديرها إلى البيئة عندما تنحل دالَّة موجية سيكون كالنسخة الكمومية للعفريت اللابلاسي: لن يرى عالماً كلاسيكياً فيه أشياء في مواضع منفردة تتحرك بسرعات معينة، بل سيرى تماماً كل الإمكانيات.

في الواقع، إن وجود كائن كهذا مستحيل لسبب واحد، هو أن الفوتونات تجرف المعلومات المفككة؛ ويستحيل متابعتها لأنها تفلت منا بسرعة الضوء. وتساعد نسبية أينْشتاين الخاصة على تكوين مجال كلاسيكي بوضع حد أعلى لقدرة الإدراك. ولكن الأساسي أكثر أيضاً هو هذا التناقض الظاهري: حدة ذهن العفريت في دالَّتها الموجية الخاصة تضمن أن الإمكانيات لن تتفكك أبداً. وهي أيضاً ستمكث في الحد الكموني.

إذا كانت النظريات الكمومية صحيحة، فإننا والكون الذي نعيش فيه موجودين لأنه يستحيل أن نكون أذكياء كالشيطان. وتنشأ أنظمة جمع المعلومات واستخدامها لأنه يمكن إغفال قدر كبير من التفصيل، أي الاشتراك في التحبب الخشن. ونحن نقسم العالم إلى منطقة ذات أهمية وبيئة يمكن أن نطرد إليها المعلومات الزائدة. وهكذا يمكن أن نضع تنبؤات تقريبية. وتوجد الإجيوزات Iguses[97] بفضل حَسَرِها، هذا العجز المتأصل عن مواصلة

---

[97] -أو الحويصلات: أنظمة جمع المعلومات-المترجم.

تعقب أثر كل تفصيل. فإذا كنت تعرف كل شيء، فأنت لا تعرف شيئاً.

لغز العقول الأخرى

في صباح يوم بارد من أيام كانون الثاني، بعد حلول الانقلاب الشتوي بأكثر من شهر، بعد أن تكون الشمس قد أنهت رحلتها جنوباً، وبدأت عودتها البطيئة نحو بحيرة الخروج في الشمال، يتجمع سكان سان آيْدِفونسو في التلال قرب قريتهم وينتظرون عودة الحيوانات إلى المنزل. وسان آيْدِفونسو تقع في أسفل هضبة باجِريتو التي تقوم عليها لوس ألاموس. وعندما تأتي الأشعة الأولى للشمس مائلة فوق جبال بْلُدّ أُفْ كْريست، مضيئة المَيْسات التي تمتد من القرية في السهول إلى المختبر في السماء، فإن قرعاً هادئاً مستمراً يمزق سكون الصباح. ومع ارتفاع ذيل من الدخان من قمة تل مجاور، تبدأ جوقة من الرجال، الذين يرتدون عصابات رأسية وقمصاناً متنوعة الألوان بإنشاد أغنية قديمة. وعندئذٍ يصرخ زعيم الصيد، الذي يرتدي سروالاً من جلد الغزال ويحمل قوساً وكنانة سهام، بصوت مرتفع وحاد، فيبدأ الراقصون هبوطهم، بوجوههم المدهونة بالأسود ورؤوسهم التي تعج بأبواق الصيد وقرون الغزلان.

يتقدم الموكب زعيم الصيد والجاموس، وهما يرشان الدقيق على الأرض أمامه، فيشقان طريقاً مقدسة-كل منهما يحمل خشخيشة في يد وقوساً صغيراً وسهماً في أخرى-إلى البلازا الشمالية حيث يبدأ يوم الشكر. والأيائل، مقوسة الظهور، تحمل بأيديها عكاكيز عوضاً عن القوائم الأمامية، ترقص برشاقة على أربع. تظهر الجواميس أعلى منها، طويلة منتصبة، تتسكع في دورات بطيئة متأنية، متعرقة تحت ملابسها الثقيلة. ومن هذا الرقص البارع، تطفر، دون قيد، الظباء والكباش. وبالتناوب، بين أغان سريعة وأغان بطيئة، تكمل الحيوانات دورة الرقص، ثم تنسحب إلى الكيڤة للراحة والمشاركة في طقوس ليست مفتوحة لغير المُلَقَّنين.

وقبل أن يفكر المرء طويلاً بهذه الألغاز، يتمزق السكون ثانية عندما يحتل البلازا الجنوبية راقصو الكومانش، الذين يرتدون أغطية الرأس اللامعة المزينة بالريش التي كان يرتديها أعداؤهم القدامى من السهول الشرقية. وعندما يعود راقصو الكومانش إلى كيڤاتهم، تظهر الحيوانات في البلازا الشمالية من جديد. وعلى هذا النحو تتواصل بقية اليوم، رقصة الكومانش تتناوب مع رقصة الجاموس، كما يحدث في ٢٣ كانون الثاني من كل عام بقدر ما يتذكر كل واحد.

والرقصات في سان آيْدِفونسو، كمعظم الطقوس المحلية في الجنوب الغربي، تشير إلى عدم الاكتراث بديانة الفاتحين الأسبان. ففي وقت مبكر من المساء قبل يوم العيد السنوي، عندما تضاء شوارع القرية المظلمة غير المرصوفة بالمَشْعَلات،[98] يحتفل القسيس الكاثوليكي الروماني المعيَّن من قبل أبرشية سنتافي بالقداس في الكنيسة الطينية القائمة إلى جانب البلازا. وبعدئذٍ، واستجابة لإطلاق مدفع، وبمقتضى تقليد اسباني قديم لطرد الأرواح الشريرة، يقود القسيس موكبه، حاملاً تمثال القديس حامي القرية، آيْدِفونسو الأسباني، بالعكس من اتجاه

---

[98] ج. مَشْعَلَة: نيران تُضرَم في الهواء الطلق-المترجم.

عقارب الساعة حول البلازا إلى الكنيسة. وربما يتألف موكبه من خمسين شخصاً، ثلثهم من السائحين، الذي ينشدون الترانيم. وعندئذٍ، يبدأ الانتظار الطويل من أجل الراقصين، مع الاستغناء عن الشكليات الكاثوليكية.

قبل أن يأتي الأسبان بالتقويم الجريجوري، الذي تُنظِّم دوراته وفقاً لدورات القمر، كان شهر كانون الثاني يسمى شهر الجليد. فما إن تنحدر الشمس تحت البحيرة الغربية، لكي تقضي الليل في العالم السفلي، حتى تنخفض درجات الحرارة بسرعة. وعندما يتراءى أن الطقس بارد جداً للمكوث دقيقة إضافية، فإنه يُضرَم المزيد من المَشْعَلات، ويطلق زعيم الصيد صرخته المميزة. فتظهر الحيوانات على ضوء النار من كيڤة في الجانب الشمالي للقرية وتمشي ببطء حول البلازا، مقدمة عرضاً مسبقاً للدراما القادمة صباح اليوم التالي.

على مدى السنين، والكثير من الرجال وقلة من النساء من سان آيْدِفونسو وقرى التيوا الأخرى يجدون عملاً على التل في مختبرات لوس ألاموس الوطنية. فقد ساعد الكهربائيون، والنجارون، والسباكون، والعمال في إعداد البنية التحتية التي تتيح للعلماء القيام باستكشافاتهم الطويلة والتحليق في تأملاتهم. وكان بضعة علماء، ممن عقدوا صداقات مع بعض جيرانهم من هنود التيوا، يهبطون المَيْسَة بسياراتهم لمشاهدة الرقصات. ولكن الاتصال في مستوى أعمق بين هذين العالمين المتجاورين كان ضئيلاً.

بالنسبة للفيزيائيين، الذين يقومون أحياناً برحلات قصيرة إلى سان آيْدِفونسو، ربما يجدون هناك ما يريح في الهبوط من الأجواء العليا للتجريد لكي يكونوا بين الناس الذين يقال عادة إنهم يعيشون أقرب إلى الأرض. ولكن التيوا أيضاً لديهم نظام تجريد خاص بهم، نظام متعال ومعقد كنظام الفيزيائيين. فقد حاكوا، على مدى قرون، نسيجاً محكماً من الأفكار، وابتكروا أمكنة خيالية، ووضعوا شبكة لعلم الهندسة فوق شذوذات الأرض الوعرة في نيومكسيكو.

وبالنسبة لأولئك الذي يتساءلون عن الدافع لاكتشاف نموذج وفرضه على العالم، يمكن اعتبار التيوا، في استعادة الأحداث الماضية والتأمل فيها، كمشاركين في تجربة غير مقصودة. ونحن نعتبر العلم الذي طورته حضارتنا كل شيء باستثناء أنه حتمي، أي اكتشاف لحقائق موجودة من قبل. ولكن، لنفترض أننا نأخذ مجتمعاً غريباً بدرجة مساوية ونعزله عن التقليد الفلسفي الغربي الذي يمتد رجوعاً إلى اليونان القديمة. وعندما يمحص هؤلاء الناس بيئتهم بحثاً عن أنماط، فما نوع النظام الذي سيبتكرونه لتفسير عالمهم؟

ونحن كغرباء، نجد صعوبة في الاعتقاد بأن رقصة، مهما كانت جميلة ومعقدة، يمكن أن تجلب صيداً أكثر نجاحاً، أو محاصيل أكثر وفرة، أو طقساً أفضل. وإذاً، كيف استطاعت منظومة العقائد عند التيوا أن تصمد أمام غزو إثر غزو من قبل الإرساليات التبشيرية الكاثوليكية، والأنثروبولوجيين، وفيزيائيي مشروع مانهاتن؟ فعلى الرغم من التدفق المستمر للعلم، فإن الحفر الرائع لكون التيوا عاش سليماً بشكل لافت للنظر على مدى قرون، حيث ترسخت أفكاره بقوة كبيرة إلى درجة لم يستطع معها غازٍ أن يزعزها.

إن واحدة من المسائل الغريبة في نيومكسيكو هي أن إيمان أحفاد الأناسَزي هؤلاء أصبح مرتبطاً، مهما كان هذا الارتباط ضعيفاً، بإيمان كنيسة روما. ففي عالم التيوا وعلى امتداد ريو جراند، يحتفل الهنود بعيد قديسهم الخاص بالرقص. وفي أعياد الميلاد، يمكن أن يؤدوا رقصة الجاموس، أو رقصة الكومانش، أو رقصة السلحفاة؛ وفي عيد الفصح، رقصة القمح، أو رقصة السلة، أو رقصة القوس والسهم. وأعياد الميلاد نفسها استُمِدَّت من

احتفالات الانقلاب الشتوي–احتفال الشمس أصبح احتفال **الابن**.[99] وتم تكييف عيد الفصح من احتفالات الاعتدال الربيعي، عندما يتساوى طول النهار والليل. وعندما جاء القسس الفرنسيسكان، عن طريق سلسلة غريبة من المصادفات التاريخية، إلى هذه الزاوية من العالم الجديد، ووجدوا الهنود يرقصون على إيقاع النجم الذي يغذي الأرض بطاقته، اكتشفت المسيحية من جديد جذورها الوثنية. ولكن الرهبان لم ينظروا طبعاً إلى المسألة بهذه الطريقة، بل حاولوا إعادة تنسيق إيمان الهنود مع إيمانهم الخاص. وفي النهاية، ساد الهنود، حيث يعملون على تهدئة الأجانب عن طريق امتصاص بعض طقوسهم، ثم العودة إلى الكثير مما كانوا عليه سابقاً.

إن تفاصيل صغيرة من رقصة الجاموس في سان آيْدِفونسو يمكن أن تتغير من سنة إلى أخرى، ولكن المهم هو إلى أي مدى بقيت هي نفسها. فحوالي نهاية القرن العشرين، بدت الطقوس شبيهة إلى حد بعيد بمثيلتها التي وصفت عام ١٩٤٥ في صحف إدِث ڤارنر، الذي جاء من الشرق لكي يعيش في أسرة صغيرة في فندق سان آيْدِفونسو، حيث يعبر الطريق الصاعد ريو جراند بواسطة ما كان يسمى يوماً جسر أوتُووِي إلى هضبة باجاراتو. وكان ما رآه ڤارنر شبيهاً جداً بما وصفه الأنثروبولوجي وليم وايتمان عام ١٩٣٧ وسلفه إلسي كلوس بارسونس عام ١٩٢٦. والمبرر ضئيل للافتراض بأن ما رآه ڤارنر، ووايتمان، وبارسونس قد تغير كثيراً عبر مئات السنين التي جثمت خلالها القرية في المكان حيث يتدفق نهر نَمْبَه نزولاً من قمة البحيرة في سانچر دو كريستوس ماونتن لينضم إلى ريو چراند. وقبل عام ١٦١٧ بوقت طويل، عندما قررت الإرساليات الاسبانية أن القرية، التي كانوا يسمونها "حيث الماء يشق طريقه نزولاً" في تيوا، يجب أن تعاد تسميتها باسم زعيم أساقفة طليطلة السابق، كان سكانها يتجمعون للاحتفال بعالم فيه الحيوانات مستعدة للتضحية بحياتها لكي يمكن أن يعيش الناس. ومهما كانت الأعمال التي طُوِّب آيْدِفونسو من أجلها قديساً صالحة وشجاعة، فإن أفكار أتباعه في يوم عيده تكون أكثر ميلاً إلى التركز على زمن سبق وجود الفاتيكان أو حتى المسيح بوقت طويل–زمن قديم جداً للتذكر، عندما كان البشر، والحيوانات، والأرواح كلهم يعيشون معاً، في العالم السفلي، ويتكلمون لغة واحدة.

بدأ الخروج من هذا الكون تحت الأرضي،[100] حيث كانت الشمس، الشاحبة كالقمر، تضيء طوال الوقت، عندما طلبت كائنات تسمى مرأة القمح الزرقاء وعذراء القمح البيضاء من أحد الرجال أن يستكشف سطح الأرض ويرى إذا كان ملائماً للسكنى. وبعد رفضه الذهاب ثلاث مرات، ظهر، عند الطلب الرابع، من خلال بحيرة، في مكان ما حول ما نعرفه اليوم بحافة كولورادو، وسار شمالاً، وغرباً، وجنوباً، وشرقاً، متنقلاً عكس اتجاه عقارب الساعة. رأى فقط ضباباً وسديماً في كل اتجاه، فعاد ليقول إن العالم فوق عديم الشكل ومشوش–فج، غير ناضج، غير مستعد لكائنات عاقلة.

لم تكن أمهات القمح مستعدات للاستسلام بسهولة، فأرسلن مستكشفهم للقيام باستطلاع آخر. وأدهشه هذه المرة أن يجد على طول الطريق مجموعة من الحيوانات البرية والحشرات–فهود، وذئاب، وغربان، ويعاسيب، ونحل. وبما أنه كان خائفاً، فإن هذه المخلوقات هاجمته. وبعدئذٍ، وعندما اقتنعت بأنها لقنته درساً، أصبحت أصدقاءه وأمناء سره. وقدمت له قوساً وسهماً وجلود غزلان؛ ودهنت وجهه باللون الأسود وربطت ريشاً في شعره.

---

[99] -ثاني الأقانيم الثلاثة في المسيحية-المترجم.

[100] -ترجمتي لأسطورة الخلق عند التيوا جمعتها من عدة مصادر، وبصورة أساسية من The Tewa World لـ Alfonso Ortiz و Social Organization of the Tewa لـ Parson.

وعاد إلى شعبه بوصفه زعيم الصيد، الحافظ للميثاق السري بين الصياد والضحية.

وبصيحة ثعلب، استدعى زعيم الصيد الجميع، وعيَّن زعيمين مساعدين، أحدهما يحكم الناس في الصيف، والثاني يحكمهم في الشتاء. وعندئذٍ، أرسل هذان الزعيمان ستة أزواج من الإخوة لاستكشاف الأرض ورسم خريطة لها، لفرض نظام على العالم. توجه الزوج الأول الذي تم تلوينه بالأزرق، لون البرد، نحو الشمال. ولم يصلا إلى المكان المقصود لأن الأرض كانت ما تزال لينة جداً، ولكن شاهدا من على بعد شكلاً ضارياً إلى الزرقة وأطلقا عليه اسم الجبل الضبابي. وهكذا بدأ علم الجغرافيا وفن رسم الخرائط. وكونهما سمَّيا الشمال، تقدم الاستكشاف في اتجاه مضاد لاتجاه عقارب الساعة. فتوجه الأخوان الأصفران نحو الغرب، والأحمران نحو الجنوب، والأبيضان نحو الشرق. وشاهد كل زوج جبلاً في الاتجاه الذي سافر به وأطلق عليه اسماً. وبعد ذلك، لم يبق أمام الاستقصاء سوى اتجاهين: إلى أعلى وإلى أسفل. وهكذا، تم إرسال الأخوين اللذين صُبِغا باللون الأسود نحو الأعلى إلى السمت لاستكشاف ظلمة الفضاء؛ فشاهدا في السماء الشرقية نجماً كبيراً بدلاً من جبل. واستكشف زوج الإخوة الأخير، المتعدد الألوان، نظير السمت لهذا الكون الجديد، وشاهدا قوس قزح.

كان الناس، وقد أعدُّوا العالم العلوي للسكنى، تواقين إلى العيش في هذه الأرض المخططة حديثاً. ولكن، كان عليهم أولاً أن ينظموا أنفسهم بالقدر نفسه من البراعة التي نظموا بها الأرض بين الجبال. ولم تكن هذه المهمة سهلة. فبذلوا أربع محاولات عاثرة لاستعمار الأرض فوق البحيرة، وبعد كل محاولة، كانوا يعودون إلى العالم السفلي. وللمساعدة في الحملة التالية، كانت أصناف جديدة من الناس تُخلَق كل مرة: مهرجو الصيف والشتاء (الكوسا والكْويرنا) لتوفير المسرة للناس أثناء رحلتهم، وجماعة الصيد لتوفير الغذاء لهم، والهيئات الطبية للمحافظة على صحتهم. وفي النهاية، أصبحوا مستعدين للخروج لآخر مرة. وتركوا البحيرة بعد أن قسموا أنفسهم إلى جماعتين، يقودهما زعيم الصيف وزعيم الشتاء. وعندما وصلوا إلى نهر كبير، هو نهر ريو جراند، قسموا أنفسهم إلى قبائل. فبدأت قبائل نڤاجوس، ويوتِس، وأباتشِس، وكْيُوواس، وكومانشس حياتها كبدو رحل، في مساكن من جلد الأيل والجاموس؛ وتوجه الآخرون باتجاه مجرى النهر لبناء القرى من الطين. وواصل الشعب الصيفي تقدمه نحو الجنوب على طول الجانب الغربي لنهر ريو جراند، في حين واصل الشعب الشتوي تقدمه على الجانب الشرقي. وبعد اثني عشر توقف لكل منهما، في كل منها كانوا ينشؤون قرى كتاوْس وبِكْيوريس في نيومكسيكو الشمالية، تواعد أجداد التيوا على اللقاء للبدء ببناء قرية، سميت پوسي، على مَيْسة فوق الجانب الذي سماه الأسبان فيما بعد أوجو كولِيَنْت، أو هُتْ سپرنچ. وبعد وباء أجبرهم على ترك القرية، انتقلوا إلى وديان ومَيْسات هضبة باجريتو على حافة جبال جيميز، وإلى الأراضي المنبسطة لإنشاء قرى التيوا، بما فيها تلك الموجودة اليوم: نَمْبَه، وپجوكيو، وسن آيْدِفونسو، وسان خوان، وسنتا كلارا، وتيسوك. ووفقاً لرواياتهم، فإن تيوا سان آيْدِفونسو كانوا يوماً يعيشون في أوتووي وتْسانكاوي، وهما مدينتان متهدمتان، تقعان مباشرة فوق الطريق إلى لوس ألاموس. ويقول تيوا سانتاكلارا، الذين يعيشون مباشرة شمالي سان آيْدِفونسو إن شعبهم جاء من مساكن الپْيووي الجُرْفية المجاورة. وتيوا سان خوان يعتبرون پوسي، القريبة من أوجو كولْيَنْت، موطن أجدادهم.

وحتى اليوم، يوزع تيوا نيومكسيكو الشمالية أنفسهم بين شعب الشتاء وشعب الصيف، ولكل منهما مسؤوليات طقوسية مستقلة. وهناك، حتى في السنوات الحديثة، زعيم شتوي وزعيم صيفي لكل قرية. وحتى الآن، يقال إن

التوأمين اللذين استكشفا الاتجاهات الأفقية يعيشان في أعلى الجبال الأربعة المقدسة: الجبل الضبابي إلى الشمال ويسمى قمة كانجيلون (مع أن البعض يسميه قمة سان أنتونيو، شمال غرب تاوْس)؛ ويُميَّز الغرب بجبل يغطيه السَّبَج[101] (قمة شيكوما في جبال جيميز)؛ وجنوباً، يقع جبل السلحفاة (قمة سانديا)؛ وشرقاً يقع، اعتماداً على الشخص الذي تسأله، إما جبل الصخور الزرقاء (قمة البحيرة) أو جبل الإنسان الصخري (قمة تروتْشِس)، وكلاهما في سلسلة سانچر دو كريستوس. وضمن منطقة الجبال الأربعة، لكل قرية ميْساتها الأربع المقدسة الخاصة (تكونت عندما ألقى التوائم حفنات من الطين في كل اتجاه)، وضمن حلقة الميْسات، أربعة أضرحة مقدسة–ميدان من روابيع متراكبة متراكزةِ يميل كل منها إلى الالتقاء في ساحات عامة، كان الناس لفترة طويلة يعتبرونها مركز العالم.

واليوم، عندما يسير المرء بين الجدران المتهدمة، أي الخرائب في أعلى الميْسات التي تسميها سان آيْدِفونسو موطناً، لا يسعه سوى أن يتساءل: لماذا كان أجداد الأناسَزي غالباً ينشؤون مدنهم على قمم ميْسات جافة، حارة بدلاً من إنشائها في ظلال الوديان، حيث يتدفق الماء، على الأقل، أحياناً؟ نهاراً، كانوا يُعنوْن بمحاصيلهم قرب النهر، وبعدئذٍ، يتسلقون السفوح الصخرية الشاهقة لقضاء الليل في مكان أقرب إلى النجوم. فهل كانوا يتحصنون من الأعداء، أو فقط يسعون إلى موقع ممتاز أعلى، مكان للتحديق إلى العالم؟ إذا وقف المرء في أعلى تسانكاوي، ورأى الجبال الأربعة المقدسة التي تنتصب بجلال حوله (سانديا يمتد لكي يبدو فعلاً كسلحفاة عملاقة)، فإنه من السهل أن يتأمل ما كانت عليه قبل مئات السنين. القرية مليئة بالراقصين الذين يقلدون الحيوانات والصياد. وفنانون يشكلون الآنية الفخارية وينقشون عليها رسوماً سوداء وبيضاء معقدة يراها المرء اليوم مهشمة فوق الهضبة. والكهنة يجلسون داخل الكيڤات بهدوء يتذكرون قصة الخروج من العالم السفلي–كيف صعد الآلهة إلى السطح ووجدوا الاضطراب في كل مكان، وخططوا الجهات الأربع، فقاعة الشرعية وسط الاختلال الكلي، وأوكلوا إلى الناس مهمة المحافظة عليها من الانهيار، وفرض هندسة الرقص على فوضى العالم. يمكن للمرء، المطوق بمشهد وعر منحتٍّ من الميْسات والغدران، أن يتخيل التيوا التواقين إلى التناغم البدائي لما تحت أرضهم السماوي.

إن قصص شعب تسانكاوي–المنهكة لكثرة ما تكرر سردها في محاولة لا تنتهي أبداً لفهم العالم– تذكِّر، في شكلها الأساسي أكثر، بروح تلك التي سردها الناس الذين سيتحصنون في وقت لاحق في أعلى ميسة مجاورة في مدينة سُمِّيَت لوس ألاموس. إن قوانين العلم التي قيل إنها موجودة في عالم خفي–العالم الأفلاطوني للرياضيات النظرية– هي كالآلهة تحت الأرض، تحطمت تماثلاتها الكاملة في إحداث العالم، كما تحطم أولئك الذين أبدعوا بدقة الأواني الخزفية. وفي حين ينفق القيِّمون على قوانين الفيزياء بلايين الدولارات على مكنات عملاقة، لتدويم جسيمات غير مرئية حول وحول الساحات المتمددة لمُسرِّعاتها العملاقة، التي تحطمها معاً بطاقات أعلى وأعلى، في محاولة لخلق الكمال الموحد لزمن قديم للحظة، فإن التيوا يواصلون الرقص، وكأن إيقاع خطواتهم سيوقظ الأنظمة المحجوبة تحت الأرض.

كان أجداد أناسَزي التيوا، كالقيِّمين على قوانين الفيزياء، يبحثون عن انضغاطات خاصة بهم، نظامٍ لتقطير

---

[101] زجاج بركاني أسود عادة-المترجم.

خلاصة عالمهم المتنوع، النزوي، الخطر غالباً. وهكذا أخذوا، في محاولتهم لتفسير الغريب بلغة المألوف، ما كانوا يعرفونه ونظموه في كل متناسق، علم ديني داخلي موجود حتى اليوم، مع أنه اضمحل قليلاً. ولكونهم لم يعرفوا مفاهيم ككتلة وطاقة، فإنهم بدؤوا بأساسياتهم الخاصة: الجهات الست، الألوان، الفصول، المخلوقات التي تقطن أرضهم. فالشمال، حيث يمكث الجليد، كان يرتبط باللون الأزرق والفهد. والغرب، حيث تغرب الشمس، كان أصفراً، وهو مِلك الدب. والجنوب، حيث كان الهواء أكثر حرارة، هو الجهة الحمراء، وهي أرض الغُرَيْر. والشرق، من حيث تشرق الشمس، هو الجهة البيضاء ووجار الذئب.

ولكل جهة أيضاً طائرها، وأفعاها، ومحارتها، وشجرتها الخاصة. وكان يمشي خلال هذا الحقل للقوى الروحية نوعان من الناس: نوع صيفي ونوع شتوي. وضمن هاتين الفئتين كانت هناك عشائر. فكان معظم الناس الشتويين، في سان آيْدِفونسو، من عشيرةِ الفيروز، في حين كان الناس الصيفيون ينتمون إلى عشيرة الحجر الأحمر أو الشمس.

والنظام أيضاً كان أكثر تعقيداً من ذلك. فإذا قمنا بقص الثنائية الصيفية الشتوية عمودياً، وعبر الروابيع المتراكزة للجبال والميْسات، فإن خطوط الطول التي ثبت بها التيوا أنفسهم على الأرض، هي سُلَّم من ثلاثة مستويات استُخدِم لتحديد مكان لكل شخص في الكون. فجاء في المستوى الأسفل شعب الطعام الجاف، وهم الرجال والنساء غير المطَّلعين على الأسرار الداخلية للدين. وفي المستوى الذي يليه من أعلى جاء شعب الطُّووَا، وهم الممثلون الدنيويون للتوائم المقدسين الذين اكتشفوا الجبال الأربعة السحرية. ويقوم الطُّووَا بمختلف الأدوار السياسية الضرورية لضبط قيام المجتمع بوظائفه ويعملون كوسطاء بين شعب الطعام الجاف وأولئك الذين يحتلون الدرجة العليا في هذا التسلسل الهرمي، الذين عُرِفوا بوصفهم شعباً مصنوعاً. وكان هؤلاء الناس المصنوعون، الذين يقودهم كاهن أعلى (المعروف في العصور الحديثة بالاسم الاسباني "كِسِكْ cacique") والزعماء الصيفيون والشتويون، هم القيِّمون على الدين: الرجال الذين ينتمون إلى جماعة الصيد، وجماعة المحاربين، وجماعة العلاج بالنار والصوان، وجماعات المهرجين من الكوسا والكويرانا، الذين يلتقون كلهم سراً في الكيفات أو يتحادثون بحميمية مع الأرواح في معتزلات خاصة. وأحياناً، كانت قلة من النساء تنتمي إلى جماعات التطبيب والتهريج، وكان لهن تنظيمهن الخاص: جماعة فروات الرأس[١٠٢] التي تهتم بجمع التذكارات في الحرب.

هناك طرق عديدة كان يمكن فيها لشخص من شعب الطعام الجاف أن يصبح مبتدئاً في جماعة ما ويصبح شخصاً مصنوعاً. فكان يمكن توريث طفل مريض إلى جماعة تطبيب مقابل إبرائه من مرضه. أو قد يعثر شخص ما صدفة على جماعة ما في أحد معتزلاتها السرية، ويتم إجباره على الانضمام إليها لحماية المعرفة. فكان يتم إطفاء الفضول بالخوف العميق من امتلاك معلومات غير مرخص بها: تحمي الجماعات أسرارها من بعضها بعضاً بالحرص نفسه الذي تحميها به من الجواسيس الفرنسيسكان. وقيل يوماً إن إفشاء أسرار الدين كان يعني الموت في أكوما وسانتو دومينجو.

---

[102] - الأجزاء التي كان يقتطعها الهنود الحمر من رؤوس أعدائهم كعلامة لانتصارهم-المترجم.

حتى المهرجون، أو صانعو البهجة، كما سماهم الأنثروبولوجي أدولف باندلبير[١٠٣] في روايته حول الحياة ما قبل التاريخ على هضبة باجاراتو، كان يُظَن أنهم يمتلكون أسراراً ضخمة. فكانوا مهمين جداً لسعادة الهنود حتى أنهم كانوا يُمنَحون مدى من السلوك لا يجرؤ تيوا آخر أن ينافسهم فيه. كانوا يجيبون بفظاظة وقلة احترام، أو يقولون عكس ما يقصدون، أو يسخرون من عيوب وأخطاء حتى الموظفين من المراتب العليا. وفي وسط معظم الطقوس المقدسة، كانوا يتعثرون على أرض الساحة العامة، وهم يقلدون الراقصين والمنشدين. ويمسكون بنساء من بين المشاهدين ويقومون بإيماءات داعرة. ويأكلون (أو يتظاهرون بأنهم يأكلون) نفايات بشرية. كانوا يهدفون بجلاء إلى أن يعرضوا التصرفات التي يجب أن يتفاداها الناس، ويقدمون بعض التحرير من المسؤووليات التي يتشاطرها كل الهنود للمحافظة على تناغم عالمهم مع الآلهة.

انعكس التركيب الثلاثي الأجزاء لشعب الطعام الجاف، وشعب الطُّووا، والشعب المصنوع في عالم الأرواح تحت الأرضي. وكان العامَّة يرتبطون بأرواح أجدادهم المتوفين، أي شعب الطعام الجاف الذي لم يعد موجوداً. وكان الطُّووا يرتبطون بالتوائم الذين عاشوا على قمة الجبال الأربعة المقدسة. وكان الشعب المصنوع يرتبط بالأرواح التي تخلفت بعد أن انبثق الناس من البحيرة: شعب الطعام الجاف الذي لم يكن مناسباً أبداً. ومع أن هذه الأرواح لم تمش أبداً على الأرض، فإن بعضها سافر عبر السماء، صعوداً وهبوطاً من خلال البحيرات البعيدة التي تؤدي إلى العالم السفلي. إن الشمس، والقمر، والنجوم، والكوكبات، والنار والريح–كلها انتمت إلى هذا الشكل الأسمى للوجود، كما فعل الأوكسوا، أو الكائنات الغيمية، وهي القسيم التيواوي لكاشيناز الهوبي.

سُمِّيَت الأرواح النجمية التي احتشدت في كوكبات زبدية الطعام الجاف، أو بيت النجوم، أو الدائرة المدورة الكبيرة، أو الزاوية الرملية، أو الذيل السابع، أو فقط ذيل الكلب أحياناً. ولكن معظم السماوات بقي دون تسمية. فهنود التيوا، كما يبدو، لم يعيروا اهتماماً كبيراً لترتيبات النجوم بسبب تجذرهم القوي في الأرض والعالم السفلي. ولكن الشمس والقمر كانا أكثر أهمية: الشمس، برحلاتها شمالاً وجنوباً، تحدد الانقلابات، والقمر، بوجوهه، يميز الدورات الشهرية. وكلاهما يقولان للناس متى يزرعون ومتى يحصدون، ومتى يرقصون. والرقصات تضمن المحافظة على الإيقاعات.

وعلى الرغم من أن الكثير من السماء دون تخطيط، فإن التيوا صنفوا العالم من حولهم بمستوى من التفصيل لا يباريه رسامو الخرائط من أسبانيا والولايات المتحدة. فعندما قام الأنثروبولوجي جون بيبودي هارنجتون باستكشاف القرى عام ١٩١٠، كتب عن أرض "منثورة بكثافة" بالأسماء. فحيثما أمكن لزائر أن يطل على امتدادات غير متميزة ظاهرياً من الميْسات، والتلال، والغدران، رأى التيوا خريطة أعطت اسماً حتى لأكثر المعالم غير الناتئة–معلومات غير مسجلة في أي مكان باستثناء رؤوس الناس الذين عاشوا هناك، متشظية بين الكثير من العقول. فأية معرفة لدى شخص واحد امتدت حتى الآن إلى ما بعد القرية، ثم أمسكت بها ذاكرة أخرى. وفي محاولة لتسجيل كل شيء، انتهى هارنجتون بتقرير من حوالي ستمئة صفحة، مليء بآلاف المواد.

وبالاستشهاد بحفنة من الأمثلة، نجد من تلك المواد في سان آيْدِفونسو: ميْسة ذيل الأيل، وادي الأرض البيضاء الأحمر، جبل الوادي الكبير، غدير ثغرة أخدود النار، دار الكهف حيث كان يوضع الطعام، مكان رجل

---

[103] رواية باندلبير اسمها- the delight Maker.

الماء الأزرق، الوادي المنثور بالحجارة الحمراء، موضع الغديرين، التل حيث التُقطَت العنكبوت، الغدير الذي ينمو الكرز الخانق في التواءاته البسيطة، الميْسة حيث قُتِل الحمار، التل حيث تعيش الأفاعي، شِعْب الصبار اللاذع المستدير. وكانت خرائط التيوا تُرسَم بأنعم الحبيبات. ومباشرة بعد مكان سمي **حيث سقط الكومانش،** سيجد المرء بالتأكيد **الغدير حيث سقط الكومانش.**

وعلى غرار تهريج المهرجين الكوسا والكويرانا، عكست بعض الأسماء موقفاً نحو النشاط الجنسي أكثر تراخياً من موقف الأوروبيين. وكان الفرنسيسكان يحاولون فرض أفكارهم الغريبة حول الخطيئة الأصلية على شعب لا يبالي بإطلاق أسماء مثل **جبل القضيب الكريه** (ربما تفقد الكلمات شيئاً ما في الترجمة)، أو **الجحر الصغير للقضيب الصلب،** أو **نبع كِيئَة المهبل.** وفي تقريره، يذكر هارنچتون باعتزاز أنه كان أول رجل غير هندي يُصطحَب إلى ضريح اسمه **الحجر الذي حك به العملاق قضيبه.** وكان يقال إن العملاق يعيش على قمة الميْسة السوداء، وهي كتلة حجرية بركانية ضخمة تُجَلُّ بوصفها الميْسة الشمالية المقدسة لسان آيْدِفونسو. ولطالما حذر الآباء أطفالهم من أن هذا الوحش الشديد الجبروت يمكن أن يمشي بأربع خطوات واسعة ويختطف الأطفال العاقِّين لشيِّهم من أجل طعام الغذاء.

عندما يقرأ المرء تقرير هارنچتون، يتساءل عما إذا كان التيوا، الذين جوبهوا بأنثروبولوجي انكليزي فضولي يشير إلى كل تل ووادٍ ويسأل عن أسمائها، قد لجؤوا إلى شيء من الارتجال للترفيه عن أنفسهم. فقد ذكر ألفونسو أورتيز، وهو تيواوِيٌّ من قرية سان خوان أصبح أستاذاً للأنثربولوجيا في جامعة نيومكسيكو، أن أباه وعمه انفجرا ضاحكين عندما ذكر لهما بعض الأسماء التي وردت في تقرير هارنچتون. جاءت معلومات هارنچتون، في أكثرها، من شابين من سانتا كلارا، ربما كانت لديهما ألفة عرضية بالأسماء هنا وهناك حول قريتهما الخاصة. وعندما جوبها بالأرض المجهولة لسان خوان المجاورة، قررا، كما يبدو، أن يرتجلا، لمعرفتهم أن هارنچتون، بخلاف ذلك، سيتوقف عن بقشتهم بأرباع الدولارات. وكما أقر في تقريره إلى مكتب الاثنولوجيا في واشنطن: "الصعوبات التي واجهتها كانت كثيرة.[104] كان التيوا متحفظين ومتكتمين فيما يتعلق بالمسائل الدينية. كما كان صعباً الحصول على أفكارهم الكوزموجرافية ومعظم معرفتهم حول أسماء الأمكنة." علاوة على ذلك، ومع أن التفاصيل يمكن أن تكون غير موثوقة، فإن تقرير هارنچتون يمكن أن يبدو كدليل على أن التيوا جمعوا معلوماتهم بمثابرة كفاتحي بلادهم المتأخرين، الذين رسموا خرائط كلا العالم المادي من حولهم والأمكنة الذهنية الخيالية التي لم ترتبط بالرياضيات بل بالآلهة، الآلهة نفسها التي يحترمونها اليوم.

إن تفاصيل قصة الخلق عند التيوا يمكن أن تستوقف غريباً باعتبارها نزويَّة واعتباطية. ولكن ليس واضحاً دائماً أن الأنثروبولوجيين قاموا بما هو أفضل لتفسير كيف انتظم شعب البويبلو في خليط الثقافات التي نجدها اليوم. فمع أن النفاجو والأبَاش الآخرين الذين يعيشون على تخوم عالم التيوا هم آثاباسكان، أقارب الإنْيوويت الذين هاجروا من كندا قبل مئات السنين، فإن الاعتقاد السائد هو أن الجماعات الكثيرة المختلفة من هنود البويبلو انحدرت، بطريقة أو بأخرى، من امبراطوريات الأناسَزي في وادي شاكو، في نيومكسيكو الغربية، والميْسة

---

[104] -"الصعوبات التي واجهتها كانت كثيرة": الاقتباس من تقرير هارنچتون، ص ٣٧.
يمكن أن نجد نظريات الأنثروبولوجيين حول من أين جاء التيوا في Prehistory: Eastern anasazi لـ Linda S. Cordell، الوارد في Handbook of North American Indians, Vol. 9 الذي حرره Alfonso Ortiz .

الخضراء، في كولورادو الجنوبية.

يُعتقَد فعلاً أن التيوا جاؤوا من مكان ما في الشمال، كما تقول نسخة سفر تكوينهم، حوالي ١٣٠٠، بعد انهيار الميْسة الخضراء ووادي شاكو لأسباب ما تزال غامضة. ربما لم تكن هجرتهم هي تلك الرحلة المتواصلة باتجاه الجنوب التي وُصفَت في الأسطورة. فالتشابهات بين لغة التيوا والكيووا، التي تتكلمها إحدى القبائل في السهول الغربية، توحي بشيء من التجوال. ولكن حكايات التيوا تنم عن بقاء قدر معين من التدقيق العلمي. فقبل الاستقرار في قرى على امتداد نهر نمبه وريو چراند، قام الأنسازي فعلاً ببناء قرى من حجر وطين في الأراضي المنبسطة حول أوجو كولِيَنت وعلى قمم الميْسات في هضبة باجِريتو؛ حيث جوَّفوا الرابية البركانية اللينة لجدران الوادي.

يقول علماء اللغات إن التيوا جزء من مجموعة لغات التانو. فإلى شمال شرق التيوا، كان سكان قريتي تاؤس وبِكيوريس يتكلمون لهجة قريبة جداً سميت تيوا. وكان هناك أيضاً قريتان جنوبيتان معزولتان، سانديا (شمال ألبوكيرك مباشرة) وإسليتا (جنوب ألبوكيرك مباشرة)، تتكلمان التيوا. والمتكلمون بلهجة ثالثة، أي الطووا، الذين يعيشون في قرية جيمس، جنوب غرب سنتافي، انضم إليهم بقايا قرية الطووا الأخرى الكبيرة، پيكوس، التي أهلكت معظمها جدري الكومانش والأسبان، وهُجرَت في القرن التاسع عشر.

لو كانت كل شعوب البويبلو في الجنوب الغربي تتكلم لهجات اللغة نفسها، لكانت مهمة الأنثروبولوجيين أسهل بكثير. ولكن في وسط المناطق الشمالية والجنوبية لشعب يتصل بلغة التانو، كان هناك من يتكلم لغة مختلفة جداً سميت كيريس. ويعيش هؤلاء في قرى كوشيتي، وسانتو دومينچو، وسان فيليپ، بين ألبوكيرك اليوم وسنتافي، وإلى الغرب في سانتا آنا، وزيا، ولاچونا، وأكوما. وإلى مسافة أبعد غرباً، هناك أيضاً قريتان تتكلمان لغتين، لغة الزوني ولغة الهوبي، لا تترابطان بلغة التانو أو لغة الكيريس، ولا ترتبطان أيضاً ببعضهما بعضاً.

على أساس اللغة وحدها، من المغري أن يفكر المرء بعالم البويبلو باعتباره يتكون من عدة ثقافات مختلفة. ولكن، نقول ثانية إن الحالة أكثر تعقيداً من ذلك. وعلى الرغم من اختلاف لغاتهم (حتى جماعتان تتكلمان الكيريس قد تجدان صعوبة في الاتصال عبر الفاصل الديالكتيكي)، فإن البويبلو يتشاطرون تركيباً من العقائد متماثلاً إلى حد لافت. فلكل قرية روابيعها الخاصة من الجبال المقدسة، وحكاياتها الخاصة حول الخروج من العالم السفلي؛ وكل منها يحتفل بمآثر توأميه البطلين. ولضمان صيد جيد، يرتدي الناس في كل أنحاء عالم البويبلو أزياء حيوانية ويرقصون رقصة الجاموس. ولضمان موسم جيد، يرقصون رقصة القمح–الرجال بصدورهم العارية المدهونة بالأسود، يرتدون التنانير البيضاء والأحذية الجلدية الخفيفة، ويهزون قرعة تخشخش؛ والنساء حافيات الأقدام بفساتينهن السوداء وأحزمتهن الحمراء، يحملن غصن صنوبر في كل يد وتاجاً فيروزي اللون يسمى تبليتا محزوماً إلى أعلى الرأس. وهذه القرى، في كل مكان في الجنوب الغربي، لها مهرجوها المقدسون لضمان ألا يأخذ أحد النظام المعقد بجدية بحيث يخلطه بالحياة نفسها.

على الرغم من كل التشابهات، فلا شيء هناك من قبيل ديانة بويبلُويِة سياقية. ففي حين يُقسَم التيوا بين شعب صيفي وشتوي، يُقسَم الكيريس بين اسكواش وتوركواز. وفي حين يقول التيوا إن الشمال أزرق والغرب أصفر، فإن الكيريس يعكسون هذه التسميات. وفي حين يتحدث التيوا عن عالم سفلي واحد تركوه بعد أربع

محاولات، تتحدث شعوب البويبلو الأخرى عن عالم سفلي من أربع مستويات. ولكن التشابهات تعذب الأنثروبولوجيين، بحاجتها المستمرة لإيجاد أنماط.

في ثقافة دون لغة مكتوبة، تترك الأفكار أثراً ضئيلاً. فليس لدى البويبلو نصوص يمكن دراستها بحثاً عن مفاتيح للوصول إلى أصول ديانتهم. ومن المغري تناول التشابهات بين معتقدات البويبلو بوصفها علامات لديانة الأناسَزي القدامى، التي تطورت أجزاؤها بطرق مختلفة. ولكن يستحيل أن نعرف مدى التشابه الذي جاء من الاقتباس الأخير، أي الأفكار المتبادلة جيئة وذهوباً بيد خفية للسوق الذي ينثر الثروة هنا وهناك.

واليوم، يجد الأنثروبولوجيون منحدراً من المعتقدات التي تتدفق عبر الجنوب الغربي. فعبادة الآلهة المقنعة–الكاشيناز، أو الكائنات الغيمية، كما يسميها التيوا–التي يبدو أنها الأقوى عند البويبلو الغربيين من الهوبي والزوني، تضمحل عندما يتجه المرء شرقاً. والتقسيمات الثنائية أقوى في الشرق مع تقسيم شعب التيوا إلى صيفي وشتوي، وأضعف قليلاً في الوسط مع تقسيم الكيريسان إلى اسكواش وتوركواز، وأكثر ضعفاً بين الزوني والهوبي. ويبدو أن الجماعات الطبية هي الأقوى بين الكيريس، وتضعف عندما تنتشر إلى الخارج. وكما يتم تركيب أجزاء أحجية، قام العلماء الذين يبحثون عن نظام شامل بتركيب هذه النتف من البيانات. ولكن شعوب البويبلو وعالمها المعقد قاوما، بطرق عديدة، تفسيراً بلغة غير لغتهما الخاصة.

توقفت الميثولوجيا وبدأ التاريخ، بالنسبة للتيوا، عندما وصل الاسبان في القرن السادس عشر، زاحفين من المكسيك، وراحوا يقحمون التيوا في روايتهم الخاصة. إن الأرواح، بالنسبة للاسبان وكهنتهم الفرنسيسكان، تعيش في السماء، وليس تحت الأرض. ودون إدراك أو دون اهتمام، بتسميات مثل: شعب صيفي وشتوي، فرض هؤلاء الزائرون الأوروبيون ثنائية مختلفة على السكان المحليين في التخوم الشمالية. كان *هنود البويبلو* يعيشون في قرى مثل سان آيْدِفونسو[105] ويزرعون المحاصيل. وكان يحيط بهذا العالم المتمدن *هنود البرباروس*، والكومانش والأباش، الذين كانو يتنقلون من مكان إلى مكان ويغيرون على البويبلو من أجل الطعام. وقبل قدوم الأسبان بقليل، جاءت إلى المنطقة جماعة من الأباش، هم النفاجو.

ليس من المؤكد تماماً متى رأى شعب سان آيْدِفونسو أول اسباني. فقد اجتاح كورونادو وطن التيوا في مطلع أربعينيات القرن السادس عشر، ولكن خوان دو أونييت لم يقم بزيارة نيومكسيكو قبل عام ١٥٩٨، عندما قاد أول جماعة من المستوطنين إليها. ومنذ ذلك الوقت، بدأ الزمن الخطي يتقدم بعنف. فسمي **شهر الجليد** باسم جديد هو جنيووَري، باسم يانوس، وهو الإله الروماني ذو الوجهين، وأصبح **شهر الرياح** هو فبريووَري، باسم طقس التطهير الروماني؛ و**الشهر الذي تنتأ فيه أوراق الأشجار** هو مارش، باسم مارس، إله الحرب؛ و**الشهر الذي تتفتح فيه الأوراق** أصبح ابريل، وهو الاسم الاترووري لأفروديت؛ و**الشهر الذي يزرع فيه القمح** أصبح مايو، وهو اسم لإلهة أخرى رومانية. وقبل ذلك بفترة طويلة، حتى التيوا أنفسهم أعيدت تسميتهم. فعندما وصلت الأنثروبولوجية الأمريكية إلسي بارسونس في مطلع القرن العشرين، لم يكن من غير المألوف أن يسمى رجل

---

[105] Pueblo Indians of، وفي Ortiz لـ Handbook -ورد وصف لتاريخ سان آيدفونسو في فصل كتبته ساندرا إدلمان في ص ٣٠٨-٣١٦ من كتاب San Ildefonso لـ Whitman.

آيْدِفونسو باسمين: جبل النجوم وألاريدس سانتياغو؛ ورجل يُدعى عصفور النجوم كان يسمى خارج البويبلو خوان جيسوس بينيا.

لم تكن التغييرات ببساطة مسألة وضع أسماء جديدة فوق أسماء قديمة. فالزمن أصبح مقسماً بتجزع أكثر وأكثر نعومة. وبينما كان التيوا مكتفين بتجزئة السنة إلى أشهر، أعطى الاسبان لكل يوم رقماً واسماً، وعندئذٍ، شُرِّحَت الأيام نفسها بصورة آلية إلى ساعات، ودقائق، وثوان.

وقبل ذلك بفترة طويلة، كان الفرنسيسكان يحاولون تغيير الأسماء نفسها للكائنات الغيمية بحيث تنسجم مع أسماء قديسي الكنيسة الكاثوليكية. وأُحرقَت الكيفات في كل مكان من عالم البويبلو، أو مُلئَت بالرمل، وأُتلفَت الأقنعة والذخائر الأخرى المقدسة. وفي عام ١٦٧٥، اتهم سبعة وأربعون من زعماء البويبلو الدينيين بممارسة السحر والزنا وأُحضِروا إلى سنتافي للجلد على الملأ. وكان بوبيه واحداً من هؤلاء الزعماء من سان خوان، وهو الذي سيقود ثورة البويبلو بعد خمس سنوات.

كانت سان آيْدِفونسو من أشد المؤيدين للثورة، حيث قتل اثنين من الفرنسيسكان الذين يعيشون فيها. وعندما أعاد دييجو دو ڤارچاس إخضاعها بعد اثنتي عشر سنة، كان البويبلو من بين آخر الخاضعين، حيث فر الناس إلى الميْسة السوداء، عرين العملاق الخرافي، لمقاومة الوحش الأسوأ. وبعد استسلام معظم البويبلو بعامين، صدت سان آيْدِفونسو رجال ڤارچاس ولكن الاسبان غلبوا في النهاية.

كثيراً ما قيل إن الاسبان تعلموا درسهم في ثورة البويبلو، حيث أصبحوا أكثر تسامحاً مع ديانة الهنود بعد إعادة إخضاعهم. ولكن يبدو أن التيوا لم يفهموا المسألة بتلك الطريقة. وفي انتفاضة أصغر عام ١٦٩٦، أي بعد أربع سنوات من إعادة الفتح، أغلقت سان آيْدِفونسو أبواب الكنيسة الكاثوليكية التي أنشئت بدلاً من تلك التي دُمرَت في الثورة وأضرمت فيها النار، ليحترق المبشرون المحاصرون في داخلها.

من الصعب أن نتصور كيف يبدو أن نعمل بعناية كبيرة على ابتكار عالم داخلي، متحرك من الألوان، والأرواح، والحيوانات، والجبال، كلها في توازن مرهف، فقط لكي يأتي المتطفلون من مكان بعيد ويقلبوا ذلك العالم–أناس يختلفون عن كل من عداهم، من حيث وفرة الثروة، وقوة السلاح، والإصرار على أن ديانتهم هي الديانة الوحيدة الصحيحة. وكان هذا يبدو كأنه غزو من كوكب آخر.

لم تكن ديانة البويبلو مثبتة في حجر، أو حتى مدونة في كتاب. ومن خلال احتكاكهم بالشعوب الأخرى–بويبلو الكيريس إلى الجنوب، والهوبي والزوني في أقصى الشمال–كان يبدو أن زعماء التيوا الدينيين مستعدون إلى التعلم عن آلهة جديدة وتكييفها إلى هيكلهم الخاص. ومضى الاقتباس إلى أبعد من البويبلو. واليوم، كثيراً ما تبدأ رقصات الجاموس بأناشيد من قبائل السهول. حتى النڤاجو، الأعداء القدامى للتيوا، يتحدثون عن جبال أربعة مقدسة، وجهات ست ملونة. فلا عجب أن دُفِع البويبلو إلى العنف عندما لم يكتف الفرنسيسكان، الذين جاؤوا بهذه الكاشينات التي يسمونها قديسين، فقط برفض تبادل المجاملة عن طريق احترام الكائنات الغيمية بل حاولوا قمعها.

حاولت الكاثوليكية أن تستوعب ديانة التيوا، ولكن ديانة التيوا أخيراً هي التي استوعبت الكاثوليكية. ففي كل قرية هندية، بقيت الكنيسة متنحية جانباً، بعيدة عن الكيڤات والپلازا. وفي رقصات الحصاد، يجلس القديس شفيع

البويبلو على مذبح في خيمة عند حافة البلازا، مزيناً ربما بالقلائد والسبحات الفيروزية–عرض جانبي إلى الجاذبية الرئيسة، أي الراقصون الذين يملؤون القرية باللون والصوت.

مع أن الكاثوليكية كانت تقريباً منزوعة الأنياب، فإن الآلهة في العلم الغربي كانت، من بعض النواحي، أكثر إلحاحاً، وكان فهمها أكثر صعوبة. فالكاثوليك، كالتيوا، لهم أسرارهم، أي معرفة مقدسة إلى حد بعيد، وهي وسيلة للارتباط بعالم الروح. وكان يتوجب على الكهانة أن تعمل بدقة على حماية المعرفة الأكثر قوة من بين كل المعارف من الوقوع في الأيدي الخطأ. وإذاً، ماذا يجب على المرء أن يفعل بخصوص هؤلاء الأنثروبولوجيين أصحاب المبدأ الفضولي القائل المعرفة من أجل المعرفة؟ ففي حين جاء الاسبان التماساً للذهب والتحويل إلى المسيحية، كان الأنثروبولوجيون، بطريقتهم الهادئة إنما المثابرة، يسرقون المعلومات، ليس إلى درجة أنهم استطاعوا أن يشاركوا الهنود في التناغم مع الآلهة (أو إجبارهم على عبادة آلهتم الخاصة، ولكن إلى درجة استطاعوا معها أن يزيلوا شكوكهم، ويتشربوا ديانتهم بوصفها تفصيلاً لنظامهم الإيماني الناضج.)

في عام ١٨٧٩، جاء الأنثروبولوجي فرانك هاملتون كوشنج[١٠٦] من الشرق لقضاء خمس سنوات بين الزوني، الذين ظن الأسبان خطأً أن قراهم هي المدن الذهبية في سيبولا. انتقل كوشنج إلى بيت الحاكم وكسر مقاومة الزوني بأن راح يتعلم لغتهم ويلبس مثلهم. وبعدئذٍ، وبضربة أنثروبولوجي موفقة لم تُضاهَ من قبل أو منذ ذلك الوقت، أُدخِل إلى مجتمع القوس. مجتمع يشترط لعضويته الحصول على فروة رأس لإضافتها إلى مجموعة المجتمع من فراء الرأس. وحتى اليوم، لا يعرف أحد من أين جاء بها ولا كيف حصل عليها. ويصر بعض الزوني على أنه سلخ فروة رأس أحد النفاجو. يميل المرء إلى الاعتقاد بأنه اشتراها من السوق السوداء أو، كما لمَّح في رسالة غامضة الصياغة، حصل عليها بطريقة ما في منطقة أغار عليها الأباش مؤخراً. وعلى أية حال، لكي يحرز الدخول ككاهن قوس، كان عليه بوضوح أن يعطي الزوني الانطباع بأنه جاء بها بالطريقة التقليدية. وتراءى أن كوشنج يهتم بصدق بسعادة أتباعه. فساعد المدافع عن حقوق البويبلو في الأرض ضد المعتدين الانكليز. ولكن الزوني شعروا في النهاية بأنه خدعهم عندما نشر أسراراهم لكي يراها كل العالم. المعرفة من أجل المعرفة.

وبصورة تدريجية، بدأ البويبلو يرتابون بالأنثروبولوجيين كارتيابهم بالفرنسيسكان. ويروي المؤرخ مارك سيمونس كيف جعلت الأعين الفضولية لكاميرا الأنثروبولوجي أدولف باندليير شخصاً غير مرحب به في سانتو دومينجو عام ١٨٨١. وتم نبذ تشارلز لوميس، زميل باندليير الذي عاش في قرية إيسليتا في تسعينيات القرن التاسع عشر، بعد نشره كتاب قصص البويبلو. وعندما نشرت إلْسي كلوس پارسونس موجوداتها حول تاؤس في ثلاثينيات القرن العشرين، عوقب بعض مخبريها بسبب انفلات ألسنتهم.

ولكن پارسونس، التي انتقلت إلى ألكالده الاسبانية عام ١٩٢٣، إلى الشمال من قرية سان خوان، في محاولة لاختراق أسرار التيوا، بدت، بوجه خاص، مغضبة بسبب معلوماتها من سان آيْدِفونسو. فكتبت، "كانت النساء، بوجه خاص، هيَّابات ولسن حسنات الاطلاع؛[١٠٧] وكان الرجل كذوباً مثلثاً، يكذب من كتمانه، ومن إحساسه

---

[106] انظر Handbook of North American Indians لـ Ortiz، و Barbara tedlock لـ The Beautiful and the Dangerous قصة فرانك هاملتون كوشنج وردت مراراً؛ انظر

[107] Parsons لـ social Organization of the tewa - "كانت النساء بشكل خاص هيابات":

بالتقليد، ومن كسله التام. ومن الغريب بما يكفي أن يكون هذا الرجل، الذي يتمتع بمكانة اجتماعية ممتازة، ولكن صدقه هو الأسوأ، وفقاً لكلا المعايير البيضاء والهندية، حتى الآن واحداً من مصادر ثقتنا حول التيوا."

ببساطة، لم تستطع پارسونس أن تفهم أن الناس الذين واظبت على دراستهم لهم موقف مختلف نحو المعرفة، ويدركون غريزياً أن التخفيف جاء مع الانتشار. والأنثروبولوجيا، كما رأوها، لعبة صفرية المجموع: المعرفة التي أحرزها العلماء هي المعرفة التي فقدها التيوا.

علاوة على ذلك، أظهرت تجربة كوشينج أن الأنثروبولوجيين لم يطبقوا دائماً المثالية العلمية للموضوعية المستقلة. وكأن شيطان ماكسويل قد أخبرهم بأن ليس هناك شيء مما يوصف بإدراك نقي: لا يستطيع المرء أن يجمع المعلومات دون أن يغير موضوع فضوله. فلندرس قصة ماريا مارتينيه، خزَّافة سان آيْدِفونسو المعروفة عالمياً، التي جعلتها تنطلق عام ١٩٠٨ عندما خيمت في وادي فريجوليس لقضاء الصيف مع زوجها، خوليان، الذي استخدمه علماء الآثار للمساعدة على التنقيب في الخرائب هناك. جاء واحد من العلماء إلى ماريا بكسرة من إناء خزفي مزخرف برسم أسود جميل يختلف عن كل ما رأته من قبل وسألها إذا كانت تستطيع محاكاته. كانت صناعة الخزف قد انقرضت تقريباً في سان آيْدِفونسو بعد أن توفرت آنية الطبخ المصنعة. وما كان يُصنَع، على قلته، كان بسيطاً وبقصد المنفعة. ولكن بمساعدة من خوليان، الذي كان نوعاً من فنان، صنعت مارتينيه نسخاً حديثة للإناء الخزفي القديم. واشترى علماء الآثار تلك النسخ لعرضها في متحف الولاية في سنتافي، قبل وقت طويل من ظهور سوق عالمية للأواني الخزفية بنسخاتها المنمَّطة للتصاميم القديمة التي استخدمها الناس الذين كانوا يوماً يعيشون على هضبة باجاراتو. فالصلة بين الأناسَزي والتيوا، التي كانت قد انقطعت منذ زمن طويل، أُعيد تأسيسها من قبل هؤلاء الغرباء الفضوليين، الذين كانت كنائسهم جامعات ومتاحف. وكان هذا، في الواقع، عالماً جديداً معقداً.

الرومانسي وحده سوف يُصِرُّ على أنه لولا الغرباء، لكان كل شيء متناسقاً في عالم التيوا. كان لدى البويبلو تمزقاتهم الداخلية الخاصة، مع أنها اتسعت، دون شك، عن طريق ضغط الاحتلال الأسباني والأمريكي. فعندما قام باندلبير بزيارة نيومكسيكو الشمالية عام ١٨٨٣، اكتشف أنه لا يمكن تحميل مسؤولية انحطاط البويبلو كله إلى الأمراض الأوروبية الدخيلة. فقد قيل له في نامب إن تضاؤل عدد السكان البويبلو سببته جزئياً عادةُ إعدام "السحرة،"[١٠٨] الذين كان من ضمنهم، كما يبدو، الكثير من المواطنين الأكثر ذكاء.

في مطلع القرن العشرين، انشقت سان آيْدِفونسو إلى شطرين عندما رفض معظم البويبلو الامتثال لأمر الزعيم الديني الأعلى، وهو زعيم القبيلة. في يوم ما، بعد إعادة الفتح (البعض يقول في أواخر القرن التاسع عشر، ويقول آخرون بعد الخراب الذي حدث بسبب انتفاضة ١٦٩٦)، تحرك البويبلو قليلاً نحو الشمال، إلى مكان أقرب إلى الميْسة السوداء. وكان بعضهم خائفاً من أن يكون تحركهم ضد الميل الفطري، لأن الهجرة يجب أن تكون دائماً نحو الجنوب، تماماً كما جرت حتى الآن منذ غادروا لأول مرة بحيرة الخروج. وبعد سنوات من الوباء، ازدادت مخاوف البويبلو من أن يكونوا قد شذوا، إلى حد خطير، عن التناغم مع الطاقات الروحية وأخيراً

---

[108] إيمان الاسبان والهنود بالسحرة هو موضوع - Witchcraft in the southwest لـ Marc Simmons.
وقصة الحروب الطائفية في سان آيدفونسو وردت في Pueblo Indians of San Ildfonso لـ whitman

(يقول البعض إنه في عام ١٩٢٣، ويقول آخرون عام ١٩١٠، أو ١٩١٨، أو ١٩٢١)، أقنع زعيم القبيلة ست عائلات أن تتحرك قليلاً نحو الجنوب وتعيد تأسيس قريتها الخاصة. ولكن، من أجل معظم الناس، وخصوصاً الذين رجحوا المخاوف الدينية، مكثوا حيث هم، وهكذا أصبحت سان آيْدِفونسو منقسمة إلى پلازا شمالية وپلازا جنوبية.

وفي وباء الانفلونزا عام ١٩١٨، مات معظم الشعب الشتوي باستثناء عائلتين. ومع الفناء شبه التام للشعب الشتوي، انقسمت سان آيْدِفونسو إلى شمال وجنوب، وكأنها ملزمة بالمحافظة على الثنائية القديمة. ولكن هذه القطبية لم تكن متناغمة كتلك التي كانت موجودة من قبل. ففي عام ١٩٣٠، أغار بعض رجال الپلازا الشمالية على الپلازا الجنوبية، واستردوا الأدوات الدينية وضربوا زعيم القبيلة. فانتقمت الپلازا الجنوبية بإحراق كيڤة الپلازا الشمالية. وحصل أيضاً انشقاق على امتداد الحدود الدينية والدنيوية. وكان الأسبان قد فرضوا على البويبلو طبقة جديدة من الهرمية، وحملوهم على اختيار حاكم وإداريين آخرين مدنيين للتعامل مع الفاتحين. واستمر التنظيم مع المراقبين الأمريكيين. وفي إحدى السنوات، رفض الحاكم الذي انتهت ولايته أن يعمل وفقاً للعرف ويسلِّم إلى زعيم القبيلة العصا التي أعطاها ابراهام لنكولن لكل زعماء البويبلو؛ وبدلاً من ذلك، سلَّم العصا لنفسه. وانتخبت الپلازا الشمالية وحدها حاكماً جديداً، فرفضت الپلازا الجنوبية الاعتراف به. وهكذا، وعلى مدى سنوات، عاش الزعيم الديني، زعيم القبيلة، في أحد جانبي البويبلو، في حين عاش الزعيم السياسي، الحاكم، في الجانب الآخر.

وفي عام ١٩٣٥، عندما دفع منتجو الأفلام السينمائية للحاكم لقاء تصوير مشاهد للبويبلو، أوقفوا شاحناتهم في الپلازا الجنوبية، في حين راحوا يصورون في الپلازا الشمالية. وعندما حان وقت توزيع الأجر، دفع الحاكم المال فقط للعائلات في الپلازا الشمالية. وكانت بعض الخلافات أيضاً أكثر تفاهة. فعلى سبيل المثال، قام رجل من الپلازا الجنوبية ببناء مرحاض سد الدهليز الذي تستخدمه الپلازا الشمالية للوصول إلى الكيڤة التي كانت مشتركة بين الفريقين المتناحرين. وبعد مناقشة، نقل المرحاض، ولكن أبقاه مقابلاً للپلازا الشمالية، ساخراً من الناس الذين يشاهدون الرقصات.

مع أنه كان يُفترَض أن تعمل الحركة جنوباً على تصحيح تراصف البويبلو مع الأرواح، إلا أن الپلازا الشمالية، كما تراءى، هي التي ازدهرت. فهناك تعيش الشخصية الأكثر شهرة من كل التيوا، أي الخزَّافة ماريا مارتينيه. وكانت قد حققت نجاحاً كبيراً إلى درجة استطاعت معها أن تستأجر نساء أسبانيات محليات كمدبرات للشؤون المنزلية. وعندما آلمها أن يقدم رجل اسباني محلي خمراً منزلية الصنع إلى زوجها والرجال الآخرين من البويبلو، قامت ببساطة بشراء بيته بلفَّة من أوراق المئة دولار لكي يغادر المنطقة. ولم يمض وقت طويل قبل أن تصبح صناعة الخزف مهنة كبيرة إلى درجة أن النساء كن يرفضن التحدث مع بعضهن بعضاً خوفاً من أن يسرق أحدهم تصاميمهن.

ما يزال الانقسام واضحاً في الشعائر الدينية: رقصة الجاموس في الپلازا الشمالية تتناوب مع رقصة الكومانش في الپلازا الجنوبية. وإذا سألنا رجلاً من الپلازا الجنوبية كيف يجد بيت أسرة في الپلازا الشمالية، فإننا سنُواجَه بحملقة جوفاء–هذا في قرية عدد سكانها ٣٥٠ نسمة.

مع تقدم القرن العشرين، كان نظام التيوا المغلق يسير نحو الانفتاح على بيئة نهمة للمعلومات. وعندما انتشرت الأخبار حول البويبلو، أصبحت الطريق من سنتافي إلى سان آيْدِفونسو مطروقة أكثر. فكان أحد الزائرين المبكرين الفيزيائي روبرت أوپنهايمر، الذي كان قد انطلق كزائر شاب من الشرق عام ١٩٢٢ من فريجوليس كانيون إلى ڤاليه چراند، وهي المرجة المرتفعة الواسعة، التي تكونت قبل مليون سنة عندما نسف قمتها بركان جيميز. وفي رحلة أخرى عام ١٩٣٧، التقى مع إديث ڤارنر،[١٠٩] المرأة التي كانت تعيش في أوتووي بريدج، قرب سان آيْدِفونسو، وتحدثت في يومياتها بالوثائق عن التغيرات التي طرأت على الأرض. وتذكَّر أوپنهايمر الجمال والعزلة بعد عدة سنوات عندما كانت الحكومة الفيدرالية تبحث عن موقع لمشروع مانهاتن. وفي عام ١٩٤٢، عاد أوپنهايمر لكي يقدم زوجته الجديدة إلى ڤارنر، التي كانت الآن تدير صالة صغيرة للشاي على الجسر. وفي غضون سنة، بُني مختبر الأسلحة فوق قمة ميْسة على بعد بضعة أميال، وتتحدث يوميات ڤارنر عن زيارات قام بها إلى صالونها الريفي كل من أوپنهايمر، وإنريكو فيرمي، وإدوارد تيلَر، ورجلها اللطيف الأثير المعسول اللسان، نيلز بور.

وبعد انفجار قنبلة هيروشيما التي طورها العلماء في هضبة باجِريتو، نما مختبر لوس ألاموس بسرعة إلى مدينة وأصبح المستخدم الوحيد الأكبر للبويبلو والقرى بين المنحدر الشرقي لجبال جيميز والمنحدر الغربي لسانچر دو كريستوس. وقبل مضي وقت طويل، كان العلماء من لوس ألاموس يجلسون إلى المائدة مع عائلات من سان آيْدِفونسو بمناسبة أعيادها السنوية. ولكن ما كل شيء كان ملائماً بين البويبلو والمختبر.[١١٠] فالأرض التي كان يعتبرها التيوا مقدسة، أصبحت اليوم خلف أسيجة موسومة بلافتات تحمل عبارة 'ممنوع التجاوز'. وبعد عقود، عندما بدأت القصص تطفو على السطح حول النفاية المشعة التي ألقيت في الوديان، حسب مكتب حاكم آيْدِفونسو أن ١٠% من شعب البويبلو أصبحوا ضحايا للسرطان منذ نشطت لوس ألاموس فوقهم. وبما أن ٣٥٠ نسمة فقط يعيشون هناك، فإنه كان يصعب على الإحصائيين تقييم أهمية الادعاء. ولكن عدم الاشتباه بنموذج واعتبار أن البحث النووي هو من أسوأ أنواع السحر كانا تقريباً مستحيلين بالنسبة لأهالي سان آيْدِفونسو.

وبدورهم، ما الذي كان الفيزيائيون يظنونه في سحر التيوا؟ بالنسبة للكثير منهم، كانت الرقصات أكثر بقليل من طرفة محلية يشاركون بها زائريهم. وربما كان البعض مأخوذاً بالسر. ماذا تعني خطوة هذه الرقصة، وتلك الأغنية، وذلك الرمز؟ ماذا كان يجري داخل الكيڤة، أو في البلازا في الأيام التي يكون فيها البويبلو مغلقين على الغرباء؟ ماذا يدور في عقول التيوا؟ كيف يبدو العالم من خلال أعينهم؟

وبروح بيكونية حقيقية،[١١١] جمع بعض العلماء شذرات من المعرفة من هنا وهناك. الشرق أبيض، والشمال أزرق. ولكن هذه الشذرات في، حد ذاتها، كانت ضئيلة الأهمية دون مجال لشحنها بمعنى. فأي شخص كان حراً في أن يتعلم نظرية المجموعة ويخترق كهانة فيزياء الجسيمات، أما مع التيوا، فالمرء دائماً يكون خارج ما ينظر إليه.

---

[109] الذي وضعه The House at Otowi Bridge ـقصة إديث ڤارنر وصداقتها مع الفيزيائي من لوس ألاموس وسكان آيدفونسو أصبحت أساس صديقها پيچي پوند.

[110] ـقصص دعاوى سان آيدفونسو ضد لوس ألاموس وردت في جريدة سنتافي اليومية في عامي ١٩٩٢ و١٩٩٣.

[111] ـنسبة إلى روجر بايكون، الفيلسوف وعالم البصريات الانكلزي (١٢٢٠؟-١٢٩٢)-المترجم.

لا يمكن أن نتوقع أن يحتجز شخص واحد من التيوا في رأسه كامل ذلك النظام المعقد من الألوان، والجهات، والنجوم، والحيوانات. فالمعرفة كانت متشظية بين عقول كثيرة، على غرار خرائط الأرض في نيومكسيكو الشمالية التي كشفها هارِنچتون. وقد عبر عن ذلك ألفونسو أورتيز، الأنثروبولوجي التيواوي، كما يلي: لا يستطيع أحدنا أن يتوقع أن يستوقف شخصاً من التيوا في الشارع ويطلب منه أن يكشف له رؤية شعبه للعالم أكثر مما يستطيع أن يتوقع من معظم الأوروبيين أن يكونوا ملمِّين بالفلسفة الغربية. فالافتراضات الأساسية أكثر تغوص إلى أعمق من وعينا؛ إنها الهواء المعرفي الذي نتنفسه.

إن الافتراضات المضمرة التي تقع في أساس بناء التيوا الفخم تحمل شبهاً ضئيلاً بالافتراضات التي بنى عليها العلماء. فانفصال الموضوع والهدف، والطبيعة المتحررة من القيم للمعرفة، وقدرة الرياضيات على عكس الطبيعة–كل هذا كان الخلفية في العدسات التي جمع العلماء بواسطتها البيانات المتدفقة من كل ما يقع وراء نطاق الحواس.

وكان كل ما نستطيع فعله، وقد جوبهنا بنظام غريب، هو أن نبسط شبكتنا المفاهيمية الخاصة فوقه ونفسره بلغتنا الخاصة–نبني أنماطاً لأنماطهم. ولكن دائماً سيكون هناك فجوة بين نظرياتنا والظواهر التي نحاول تشكيلها. وحتى إذا لم يكن هناك الكثير جداً من ديانة التيوا سرياً، فإنها لن تكون طريقة للتفكير بدماغ أحد التيوا، لإزالة شبكة معتقداتنا الخاصة وغمر أنفسنا بشبكة أخرى. وفي النهاية، يمكن أن تكون هناك رؤيتان مختلفتان للعالم غير قابلتين للتمازج كالزيت والماء: تركيبهما بالذات يبقيهما منفصلين.

ومع ذلك، ربما يكون هناك ثقافة من مستوى أدنى، جماعة تمتد رجوعاً إلى ما قبل مغادرة أجداد الأناسَزي وغيرهم من السكان المحليين القارة الآسيوية، مرتحلين عبر مضيق بيرنج–وحتى إلى وقت أقدم، قبل أن يكون هناك قوقازيون، وأفريقيون، وشرقيون، عندما وُجِد النوع البشري. فنحن جميعاً، في المستوى الأعمق، جامعو معلومات–إچْيوزات [حويصلات] بتعبير جل–مان. إذا حفرنا عميقاً بما يكفي خلال طبقات العقل، فسوف نصل بالتأكيد إلى المستوى الأدنى، وهو حد أدنى لا يمكن اختراقه: بناء الدماغ الذي شكله التطور لاكتشاف الأنماط، حتى لو لم تكن دائماً موجودة. كلنا نجد أنفسنا في عالم العشوائية، حيث بعض الفصول ماطرة وبعضها جافة، وحيث يتعثر الناس الطيبون وينجح الأعداء. بالتأكيد، لم يكن مقصوداً أن يكون العالم هكذا. وكلنا نتشاطر الإيمان بالتناسقات، وعندما نجد أنفسنا في عالم تعطلت تناسقاته، فإننا نتخيل زمناً سبق السقوط من الكمال، سواء سمينا ذلك الكمال جنة عدن، أو العالم السفلي، أو الانفجار الكبير.

وهكذا نفرض على العالم عدداً. القوى الأساسية **الأربع**. المحطات **الأربع عشرة** للتصالب. **الروابيع** المتراكزة للجبال والمِيْسات. المستويات **الثلاثة** للناس الذين عكستهم المستويات **الثلاثة** للعالم الخارق. حتى الميثولوجيا تُعرَض بدقة. فعملاق الميْسة السوداء يصل إلى سان آيْدِفونسو **بأربع** خطوات. الناس الأولون بذلوا **أربع** محاولات لمغادرة بحيرة الخروج، ثم **اثني عشر** توقفاً للوصول إلى أول مستوطنة للپويبي. ومع هذه الرحلة إلى العدّ، نشترك بدافع إلزامي لتقسيم العالم إلى **ثنائيات**: إيجابي وسلبي، مادة ومضاد المادة، خير وشر، صيف وشتاء، شمال وجنوب.

يُصِر العلماء على أن أعدادهم وثنائياتهم هي فرضيات يمكن اختبارها، بينما تكون أعداد وثنائيات أخرى

أدوات للعقيدة، حتى أن هناك انضغاطات صحيحة وكاذبة. وعبَّر عن ذلك موري جل–مان مرة بالقول إنه عندما لا يرى المرء الانضغاطات الموجودة، فذلك إنكار؛ وعندما يرى انضغاطات غير موجودة، فتلك خرافة. ومن بين اهتماماته الكثيرة، أظهر جل–مان افتتاناً بديانة التيوا ولغتهم. ولكن لم يكن لديه شك في أن الأنماط التي اكتشفها، هو وزملاؤه، في الفيزياء النظرية هي الأنماط الحقيقية.

إن المعرفة، بالنسبة لعالِم، هي شيء ما يجب اكتشافه. ويمكن أن تبقى سراً حتى يُنشَر بحث ما، ولكن، بعد ذلك تصبح مجانية لكل من يستطيع أن يفهم هيروغليفيتها. والتيوا تقليدياً لم يستخدموا قدراتهم في الاستقراء للتركيز على العلاقات السببية، أي لاكتشاف الحقيقة الأفلاطونية. فقد كانت الحقائق الأكثر قوة معروفة لديهم منذ البدء. والحِمل يجب أن يحميهم ويُدخلَهم غير مضعفين تحت الخط.

يمكن أن يقول عالِم: غير مضعفين، وأيضاً غير مُختبَرين. ولدى بعض القاطنين في لوس ألاموس، كان السؤال المهيمن هو: كيف أمكن لجيرانهم في أسفل التل أن يؤمنوا بهذه الأشياء؟ وكيف بقي نظام، على الرغم من الكثير من المكونات الاعتباطية فيما يبدو، سليماً إلى حد رائع جداً، طوال هيمنة الكاثوليك، وتقصي الأنثروبولوجيين، وغزو الفيزيائيين؟ وجزء من التعليل هو أن عالم التيوا، كعالم العلم، ليس سكونياً. فقد امتص آلهة جديدة على امتداد الطريق. ولكن، هل كان يتم التخلي عن الرقصات والآلهة عندما كانت تثبت عدم فعاليتها؟

إن بعض أجزاء النظام تُختبَر كل يوم. فالشرق أبيض كلما أشرقت الشمس؛ وإلى الشمال ضباب الجبال الشمالية الرقيق الضارب إلى الزرقة. ويرقص البويبلو في الربيع، وتمطر عادة قبل ذلك بوقت طويل. والناس، في عالم مقلق جداً، لا يغريهم أن يجربوا، أن يمتنعوا عن الرقص سنة واحدة لكي يعرفوا ما إذا كانت ستمطر أم لا. ومع ذلك، يستطيع المرء دائماً أن يعزو مسؤولية صيف جاف بشكل بارز إلى عدد من الأشياء: رقصة لم تُؤدَّ كما يجب، أو أفكار الراقصين لم تكن طاهرة. وفشل الشعيرة سيدفعهم إلى الرقص بجدية أكبر. فمرونة النظام عينها تجعله مقاوماً للتكذيب. وإذا تم تحديه من قبل الشعب، فإن الكهنة يستطيعون دائماً أن يختبئوا خلف قناع التكتم. فلديهم مصلحة مكتسبة في الاحتفاظ بسلطتهم.

ولكن، هل العلم دائماً مختلف جداً؟ إن من تؤهلهم مواقعهم لتقييم تعقيدات فيزياء الجسيمات أو الكوزمولوجيا، حتى من ذوي الثقافات الجامعية، هم قلة من الناس. ونقبلها نحن على العمياء، قصصاً سردها الكهنة والكاهنات الأعلون. ونُزوَّد بالدليل على أن التأملات تُرسَّخ في الملاحظة وأنه حتى البرج الجميل يمكن أن ينهار بملاحظة واحدة. ولكن أقل ما يقال في العلاقة بين العالم الذي يمكن ملاحظته والنظريات التي نبنيها، هو إنها مخاتلة. وفي الممارسة، نحن نميل إلى إضافة زخرفات إلى أنماطنا أكثر مما نميل إلى رؤيتها مقلوبة.

عندما تواجهنا ملاحظة تقاوم بعناد النظرية السائدة، فإن هذا يغري العلماء باستبعادها بوصفها خطأً تجريبياً. أو يمكن أن تُلحَق بما يسمى بكياسة "فرضيات مساعدة." إن الاضمحلال البيتاوي ينتهك قانون حفظ الطاقة، وبالتالي يجب أن يكون هناك نيوترينووات غير مرئية. والمجرات تُدوِّم على النقيض من قوانين نيوتن، وبالتالي يجب أن يكون هناك مادة مظلمة غير مرئية. والعلم أيضاً بنى أنظمة معيلة للذات، وهي نسيج من المفاهيم

التي، كما عبر عنها الفيلسوف ويلارد كواين، "تصطدم بالتجربة فقط على امتداد الحواف."[١١٢]

إذاً، كيف يمكن للمرء أن يلجأ إلى نسبية، أي إلى استنتاج أن نظام شعب واحد هو جيد كنظام شعب آخر؟ وعندما ننتهي إلى التنبؤ بالعالم من حولنا والتحكم فيه، فإن الفيزياء تقدم المجموعة الأكثر قدرة من الأدوات. فأين هو مكافئ التلفزيون أو القنبلة الذرية لدى التيوا؟ من الصعب أن نتخيل أن طريقة التيوا كانت ستؤدي إلى حاسوب رقمي أو تصوير تجسيمي ليزري، لو أُعطيَت أي مقدار من الزمن لشرح الواقع. ومع ذلك، إذا كانت طريقتهم لتجزئة العالم لم توفر رافعات قوية بما يكفي لتحريك الأرض، فإنها منحتهم القوة الداخلية للصمود في وجه غزو تلو غزو–من قبل النقاجو، والجنود الأسبان، والإرساليات التبشيرية، والأنثروبولوجيين الباحثين، وأخيراً من قبل الفيزيائيين في لوس آلاموس. إن الغرض من بناء أنظمة عقلية للتحكم في البيئة، بالنسبة للتيوا، يبدو أدنى مرتبة منه للتحكم في العالم ضمن نطاقها. وحتى العصور الحديثة، نجحوا إلى حد بعيد، ولكن المهمة تصبح أكثر صعوبة سنة بعد سنة.

وفر النظام الذي خلقه التيوا ما يكفي من الراحة إلى درجة أنه، لو تُرِك لوحده، فربما كان سيواصل نجاحه. ولكن شيئاً من اختبار الواقع كان حتمياً. وأصبح واضحاً أن الأطباء من الخدمة الصحية الهندية كانوا غالباً أكثر نجاحاً من المعالجين البويبلو في مداواة المرض. هكذا، وبشكل حتمي، بدأت الجماعات الطبية تموت. وخضعت الجماعات الأخرى الدينية لنفعيات العصور الحديثة. ففي عالم يستطيع المرء فيه أن يأخذ شيكاً براتبه من لوس ألاموس ويصرفه لشراء مواد البقالة من سوبرماركت في اسبنيولا أو سنتافي، ستكون حاجته ضئيلة لمجتمع الصيد، وبالتالي تلاشى هذا أيضاً. في ستينيات القرن الماضي، قابل ألفونسو أورتيز آخر زعيم للصيد في قرية سان خوان. مات الزعيم دون أن يسمي وريثاً له، لأنه شعر بأن معرفته لم تعد ذات قيمة. فانقطعت السلسلة، إلا فيما يتعلق بالمعلومات التي كان أورتيز قادراً على تسجيلها في ملاحظاته الميدانية.

إن هذا الغشاء الذي أنشأه البويبلو حول أنفسهم يحفظ المعلومات من التدفق إلى الخارج، ولكن الوقاية، على الأغلب، وحيدة الاتجاه. فلا شيء يمكن أن يعترض سبيل الموجات التلفزيونية. والقوة الصرف للسوق الأمريكية كانت كل شيء باستثناء عدم إمكانية مقاومتها. فقد اندمج البويبلو في الاقتصاد الذي يطوقهم، وترتب عليهم أن يجدوا طرقاً لتحويل الموارد إلى نقد. حتى قرية هندية محافظة دينياً، كقرية تيسوك، تجد نفسها تفتتح قاعة للبينجو؛ فقد بدأت، عام ١٩٩٤، في بناء كازينو كامل النضج. وسانتو دومينجو اليوم هي موقع مول لتصريف السلع. وتنتصب لوحات الإعلان التي تحجب المشهد من ألبوكيرك إلى سنتافي وما بعدها على قطع صغيرة مستأجرة من أرض القرية.

استسلم بعض البويبلو تماماً أكثر من آخرين. ففي بوجوكيو، التي تقع بين تيسوك وسان آيْدِفونسو، استبدلت بيوت الطين ببيوت متحركة. وبدلاً من البلازا المركزية، هناك موقف اسفلتي للسيارات يعود إلى مركز التسوق في بلازا القرية. واستغلت القرية تماماً موردها الرئيس–التقاطع على شكل Y الذي يربط طريق عام سنتافي مع لوس ألاموس وتاوْس–فأنشأت شريطاً من المطاعم السلسلية، ومحطات الوقود، وقاعة مقامرة مزودة بماكينات ڤيديو شقبية، ومتجر للمشروبات الكحولية يتضمن مجموعة من أجود أنواع الكحول في نيومكسيكو الشمالية.

---

[112] استُشهد بـ "تصطدم بالتجربة على امتداد الحواف": Quine - في Philosophy in the Twentieth Century لـ A. J. Ayer.

ومن مطعم پو سُووِيه جيه (من الاسم التيواوي الأصلي للبويبلو) يستطيع المرء أن يطلب سندويتشات تسمى تونا تيسوك، وتوركي تاوْس، وهام وسْوِسّ سان آيْدِفونسو، وبي إل تي بِكيوريس.

وفي السنوات الحديثة، حاولت پروجوكيو استعادة تقاليدها الضائعة، بالعودة إلى تعلم الرقصات من القرى الهندية الأخرى وفتح متحف، يعمل كمورد ثقافي ووسيلة لتسلية السائحين المسافرين على الطريق العام ٢٨٥. والأكثر مدعاة للدهشة ربما هو أن تكون پروجوكيو استثناء، لأن معظم قرى ريو چراند تبدو كما كانت عليه لمدة طويلة بقدر ما توجد هناك صور فوتوچرافية للمقارنة. فصورة مأخوذة حوالي منقلَب القرن لرقصة القمح في سان آيْدِفونسو يمكن أن تكون قد التُقطَت عام ١٩٩٥: الملابس نفسها، الأفق المنخفض نفسه للبيوت الطينية، شجرة الحور القطني نفسها في البلازا الشمالية.

يميز الأنثروبولوجيون بين القسم الخارجي للدين، الذي يُكشَف للغرباء، والقسم الداخلي، الذي يُعتبَر سراً ويُحتفَظ به. وفي عالم التيوا، يذوي اللب الداخلي ببطء، مخلِّفاً الغلاف الخارجي. فالرقصات تبدو نابضة بالحياة كما كانت دائماً. إنها، في نظر البويبلو المسنين، استحضار للسحر، وهي، في نظر الشباب، محافظة على التقليد، أي المحافظة على سلامة الهوية. ولكن حتى أولئك الذين يفهمون الدين مجازياً–والرقصات كاحتفال ثقافي أكثر منها كتهدئة للآلهة–هم أيضاً يصاغون بهذه الرؤية للعالم، تماماً كما يصاغ اللاأدريون والملحدون بالتعليم اليهودي المسيحي.

في كل سنة، تصبح مقاومة زخارف العالم وراء الجبال أكثر صعوبة. وحتى في القرى الأكثر تقليدية، كسانتو دومينچو، تترافق رقصات العيد بكرنفال مع حديقة ألعاب.[١١٣] وتتضمن أعياد الميلاد الحديثة محاكاة هزلية لرقصة القمح. فيتزوق الراقصون للقيام بدور زنوج–لا كالحيوانات في رقصة الجاموس بل كأعضاء في فرقة كوميدية مستزنجة–بعضهم بأشعار افريقية مستعارة وبعضهم يرتدي ملابس النساء، ويؤدون ما أعلنوا عنه بوصفه رقصة القمح الألابامية. أما الأصوات العنصرية الخافتة، فأضعفتها فقط معرفة أن المهرجين البويبلو يسخرون من أي واحد، حتى من أنفسهم. في رقصة القمح التقليدية، يشكل الراقصون الذكور والإناث خطوطاً متوازية متقابلة. أما في رقصة القمح الألابامية، فقد انحط هذا الشكل بسرعة إلى لعبة طفولية تسمى رِدّ روڤر.

كان يتبع راقصي القمح الألاباميين فرقة من الإطفائيين البويبلو، يرتدون قبعات صفراء قاسية وينشدون أنشودة فرسان قديمة عُدِّلَت من فيلم جون وين: "حول عنقها لفَّت شالاً أصفر. لفَّته من أجل إطفائي بعيدٍ، بعيدٍ جداً." وعندما حان وقت استعراض الفرقة من قبل الرئيس، فتح هذا حقيبة جلدية وسحب منها قضيباً مذكراً ضخماً من المطاط. وسار على امتداد الخط، وهو يحمله بيده كعصا ويهزه، وهو يسأل كل عضو عن اسمه.

ومع أن البويبلو يحبون أن يسخروا من مناظريهم البيوريتانيين والأمريكيين، إلا أن روح الدعابة عندهم أصبحت أكثر تلطيفاً. ففي كل مكان من عالم البويبلو، هذب المهرجون تمثيلهم، مع أنهم ما يزالون يقدمون مسرحيات مرحة. ففي قرية بيكوريس، القريبة من تاوْس، ما يزالون يقتحمون البلازا أثناء المهرجان، ويعطلون الكورس ويسخرون من الراقصين. ويرتدون شورتات فضفاضة ملونة، تتناقض بشكل صارخ مع الزخارف الرأسية، ويمثلون مسرحيات إيمائية يحاولون فيها اكتشاف كيف يتناولون بطيخة حمراء وصرة طعام من أعلى

---

[113] وصفي لرقصات سانتو دومنچو من زيارة إلى القرية في كانون الأول ١٩٩٢.

عمود طويل. وما يزالون يختطفون نساء من جمهور المتفرجين لمعانقتهن والدوران حولهن، ولكن الأصوات الجنسية الخافتة تكون صامتة.[١١٤]

يبدو أن المهرجين يسرفون في الهزل إلى درجة يسهل على المرء معها نسيان أن الرقصات لا تُقدَّم لتسلية الغرباء. وعندما حاول رجل أسباني مؤخراً أن يصورهم في بيكوريس وهم يحاولون تسلق العمود، تصدى له شاب من القرية غاضباً وكان مكلفاً بالأمن فاستولى على مكنة التصوير ولم يُعِدْها له إلا بعد أن صادر الفيلم.

إن الكثير من البويبلو يمنعون التصوير (أو يطلبون أجر مكنة التصوير). ليست أرواحهم هي التي يخشى البويبلو أن تأسرها مكنات التصوير، كما في كليشة للرجل الأبيض القديمة، فبعضهم مصورون. ولكن ما يخشونه هو التماثل. فهم يعرفون ما يحدث عندما يُفتَح نظام مغلق على العالم، وكيف تنتشر المعلومات عبر الحدود ويتحول التنظيم إلى أنتروبيا. لم يعد أحد من البويبلو يسمح بطرح أسئلة أنثروبولوجية مهمة. وقد عبر عن ذلك أورتيز، الأنثروبولوجي التيواوي: "لماذا لا تقومون بدراسة أنفسكم؟"

إنهم حذرون بالتساوي من باحثي العصر الحديث الذين يأتون من سنتافي بحثاً عن المعرفة الروحية. لقد أزعج حاكماً جديداً لقرية تيسوك، التي هي الأقرب إلى المدينة، عثورُه على صحيفة أسبوعية متناوبة ورؤيته لإعلان عن دروس لشامان هندي. وفي زيارته إلى تريدَر جاكس فلي ماركت، وهي سوق تُفتَح عند نهاية الأسبوع على الطريق العام قرب تيسوك وأوبرا سنتافي، رأى حشداً متجمعاً حول رجل يبيع بلّورات يُفترَض أن لها قدرات شافية. فالتقط الحاكم حجراً من الأرض وصاح، "سأبيعك هذا بنصف الثمن." فأجابه الرجل، "السحر ليس في الشيء، ولكن في ما تؤمن به." لقد بدا أنه يجد حركة العصر الحديث بكاملها مثيرة للشفقة–هؤلاء الناس الذين هم دون ديانة يحاولون أن يبتكروا ديانة أو يسرقوا واحدة.

"معتقداتنا واحدة من الأشياء القليلة التي ما تزال ملكنا," قال له. "وهناك دائماً فرصة لأن تعمل هذه المعرفة على إنقاذ العالم." ورسم دائرة تمثل الأرض، ثم خطاً يمثل محورها. وحول المحيط وضع مختلف الشعوب المحلية: من الشمال، الهنود الأمريكيون–البويبلو، والنفاجو، والأباتشي، واليوتس–إضافة إلى قبائل افريقيا وسكان استراليا الأصليين. وقال إن هدف هؤلاء هو المحافظة على توازن الأرض. فإذا دُمرَت ثقافات، فإن المحور سيميل ويسقط الكوكب إلى الشمس. وقال: "نحن نعرف، قبل أن يعرف العلم، أن هناك محوراً، ولا نهتم بما يحمله على الدوران. وإذا عُنينا بمعرفة ذلك، فإننا سنعرف."

إن واحداً من المناصرين الأكثر راديكالية لفكرة أن شعوباً مختلفة قسمت الحقيقة بطرق مختلفة جداً هو اللغوي الأمريكي بنيامين لي هورف[١١٥]. لأنه كان يرى أنه حتى هذه الأفكار، كالزمان والمكان، مغروسة ثقافياً في النفس. لم يكن التيوا يسمحون لأحد سواهم بدراستهم ولغتهم عن كثب بما يكفي لكي يعرفوا إلى أي مدى يمكن أن يكونوا مختلفين في فهم هذه الأفكار الأساسية. فقام هورف بدراسة لغة أقاربهم الأقصون، الهوبي، مستنتجاً أنه لم يكن عندهم كلمات للزمن. وبخصوص تلك المسألة، زعم أنه لم تكن لديهم حتى حالات للفعل أو أية

---

[114] -حكاية الرقص في بيكوريس من زيارتي في شهر آب عام ١٩٩٢.

[115] -من أجل وصف موجز لأفكار هورف، انظر المقالة An American Indian Model of the Universe في Teaching from the American Earth .

تراكيب أخرى تميز حالات الحاضر، والماضي، والمستقبل. وأصر هورف على أنهم ناجحون دونها.

وكتب: " كما يمكن أن يكون لدينا أي عدد من الهندسات غير الهندسة الأقليدية التي تقدم تفسيراً تاماً متساوياً لأشكال المكان، كذلك تماماً يمكن أن يكون لدينا أوصافاً للكون، كلها صحيحة بالتساوي، لا تحتوي على خلافاتنا المألوفة حول الزمان والمكان."

ومع أن رياضيات النسبية تعالج الزمان والمكان بسلاسة أكبر، فإننا نفكر غريزياً بأننا نجد أنفسنا في شبكية صارمة ذات ثلاثة أبعاد، والزمان يتدفق عبرها–ريح ثابتة لا اتجاهية من مستقبل مظلم مجهول. أجهد هورف نفسه لكي يترجم ميتافيزيقا الهوبي إلى تقريب يمكن أن يفهمه الغربيون، فخلص إلى القول إنه بدلاً من الزمان والمكان أو الماضي والمستقبل، قسَّم الهوبي كل شيء إلى ما يسمى ظاهراً وظهوراً (أو، بدلا من ذلك، لا ظاهراً). ولعدم وجود مفاهيم أكثر دقة، يمكن أن نسمي هذه المفاهيم الموضوعية والذاتية، ونتبنى الأسماء التي استخدمها ديكارت عندما شطر الكون إلى حالات ذات امتداد وحالات عقل.

كل شيء يمكن تسجيله عن طريق الحواس، سواء في الحاضر أو الماضي، ينتمي إلى عالم الظاهر، ذلك الذي يصير الآن. والمستقبل، إضافة إلى كل شيء آخر غير محسوس من قبل الحواس–الذي لم يصر حتى الآن–ينتمي إلى عالم الظهور. فالمستقبل ليس موجوداً هناك ويجري نحونا، لكنه محجوب داخل الأشياء، يكافح لكي يظهر. ويتضمن تصنيف الظهور هذا كل شيء نصفه بأنه عقلي: الأفكار، والآمال، والمشاعر، والرغبات، والنوايا. الكل يكافح لكي يكون ظاهراً. وبالمثل، إن البذرة التي تكافح لكي تصبح نبتة تنتمي إلى هذا العالم الذاتي. وربما كانت هذه الطريقة لتقسيم العالم هي التي أوجدت فكرة التيوا حول شعب مصنوع وشعب الطعام الجاف اللذين لم يصيرا أبداً.

أما اللاظاهر فهو "شكل ذاتي من وجهة نظرنا،" [116] كتب هورف، "ولكنه حقيقي بقوة وينبض بالحياة، والقوة، والفعالية عند الهوبي." وأفضل تعبير اقترحه هو 'عالم الأمل.' ويُقسَّم العالم إلى أشياء كائنة وأشياء يؤمل لها أن تصبح حقيقة. فالطقوس في الكيفة والرقصات في البلازا هي وسائل لكي تصير الآمال والمستقبل ظاهرين.

وكما ذكر هورف، فإن هذه الرؤية للعالم تبدو تقريباً رؤية أَيْنشتانية. فإذا تحدث المرء للهوبي في الميسة الأولى حول شيء يحدث بالتزامن على الميسة الثانية، فإن حديثه سيكون دون معنى. يمكن للمرء فقط أن يتخيل. ولاكتشاف ما يحدث، يجب أن يسافر المرء إلى هناك أو ينتظر وصول رسالة. عندئذٍ فقط يصبح ما يحدث هناك حقيقياً. وقبل ذلك، ينتمي إلى عالم اللاظاهر، العالم الذاتي.

وكمساعد على التفكير، على غرار الأمكنة التي يتخيلها علماء الرياضيات، فإن الهوبي يفهمون الكون بوصفه أنشئ بشكل عمودي. والعالم الذي يقطنه الجنس البشري يقع في منتصف الطريق بين السماء المرصعة بالنجوم والعالم السفلي الروحي. وليس الآلهة حرفياً هم الذين يعيشون في العالم السفلي. إنهم بالضبط يزيلون من عالم الموضوع، الأشياء التي تصلها حواسهم بسهولة، إلى درجة أن المرء يستطيع أن يتصور كيف تبدو. ويصح الشيء نفسه على النجوم البعيدة.

يصعب على المرء أن يدرك مدى دقة هورف في تقسيم عالم الهوبي. وافتراضه، بأن اللغة تحدد وتقيد فهم

---

116 -ذاتي من وجهة نظرنا، المصدر السابق.

الناس للواقع، ينحدر دون أن يأبه بالاستحسان، حيث يمكن أن تكون مرشحاته العقلية قد ضمنت له رؤية ما كان يريد أن يراه في كلمات الهوبي. والفكرة الحقيقية للمفاهيم المجردة–هذه البنى العقلية التي توجد بطريقة ما مستقلة–يمكن أن تكون مفهوماً لا تشارك فيه الثقافات الأخرى بالضرورة. فديانة التيوا، بالنسبة لنا، ربما ستنتمي دائماً إلى اللاظاهر، الذي يقف كمذكِّر بأنه، حتى هنا على الأرض بين البشر، ليس كل شيء يمكن معرفته. ولكن هناك شيء واحد نشارك فيه: كلنا نكافح ضد القيود التي تفرضها جملتنا العصبية، والقدرات الحسابية للدماغ على الضغط والفهم. ونحن نتمسك بالصور ونسردِ القصص، في محاولة لكي نبني لأنفسنا مكاناً في العالم، ولكن دائماً بذلك الشعور غير المريح بأننا نتزلج على طبقة رقيقة من الجليد فوق بحيرةٍ لا قرار لها ظاهرياً.

القسم الثالث

"حمى المادة"

إذاً، كيف كانت الحياة؟ كانت حرارة،

والحرارة ولَّدتها حمى خيالية حافظة للشكل، أي حمى المادة، التي رافقت عملية

انحلال لا تتوقف وإصلاح جزيئات الألبومين

التي كانت معقدة إلى حد بعيد، وبارعة إلى حد بعيد في التركيب.

–توماس مان، الجبل السحري

الفصل السابع

فجر المعرفة

إن البيولوجيين الذين يتفكرون ببدء الحياة، هم كهنود التيوا، يعتقدون بأننا جئنا من تحت الماء، لا من بحيرة في نيومكسيكو الشمالية ولكن من بحر قديم كلي الغمر. وهؤلاء الباحثون عن الأصول، هم كشعب البوبيلو، يوجههم الإيمان بأهمية الثنائيات، لا ثنائيات الصيف والشتاء أو الحرارة والبرودة، بل القطبية الكهربائية، السالبة والموجبة. ولأسباب ربما أساسية جداً للفهم، يبدو أن الكون نشأ منقسماً إلى جوهرين مجبرين بطبيعتهما ذاتها على الامتثال لقانون بسيط: كالشحنات التي تتنافر في حين تتجاذب الشحنات المتضادة. وعندما نسرِّح شعرنا بمشط ونراقبه كيف يلتقط جسيمات الغبار، فإنما نشهد الشكل الأكثر قِدَماً للمعرفة.

وإذا وحدنا هذا الائتلاف الأساسي مع قوانين ميكانيكا الكم، فإننا سنحصل على قصتنا الخاصة للخلق حول أصل الذرات[117]–كيف استطاعت حَمَلَة الشحنة الإيجابية، أي الإلكترونات، التي تنجذب إلى حَمَلَة الشحنات السالبة، أي البروتونات، أن تنظم نفسها فقط بطرق معينة. أولاً، جاء الهيدروجين، وهو بروتون وحيد بشحنته الإيجابية التي تتعادل بدقة بإلكترونها الوحيد المشحون سلبياً. ثم جاء الهليوم، وهو نواة لبروتونين يحيط بهما إلكترونان. وقد كُتِب أنه لا يُسمَح لإلكترونين لهما الأعداد الكمومية نفسها باحتلال المدار الذري نفسه؛ ولكي لا يقعان في ورطة هذا الرأي الفصل، أي مبدأ بولي للاستبعاد، فإن كلاً من هذين الإلكترونين "يلف" بطريقة مختلفة. وعندماً تطورت النُّوى الأكبر، التي تشكلت داخل النجوم بواسطة القدرة نفسها التي تضيء السماء، فإنها تطلبت المزيد من الإلكترونات للاحتفاظ بتوازنها. وفيما يتصل بالليثيوم (نواة لثلاثة بروتونات)، لم يكن هناك متسع أكبر في المدار الأعمق، وهكذا أنشأ الإلكترون الثالث غلافاً ثانياً. وبعدئذٍ جاء البريليوم بأربعة بروتونات، والبورون خمسة، والكربون ستة، والنتروجين سبعة، والأكسجين ثمانية، والفلورين تسعة، والنيون عشرة. وفيما يتصل بالنيون، بمداراته الثانوية العديدة، فقد امتلأ الغلاف الثاني، وهكذا مع الصوديوم، نشأ غلاف ثالث، وهو صف جديد على الجدول الدوري. وهكذا سارت الأمور، طبقات تكدست فوق طبقات، مالئة صفوف وأعمدة الجدول البياني الكبير لمندلييف، الذي يقدم اثنين وتسعين عنصراً تحدث بصورة طبيعية، وكل منها يحمل خواصاً مميزة، محددة بعدد الإلكترونات في أغلفتها الخارجية.

إن الذرات التي كانت أغلفتها الخارجية غير ممتلئة تماماً ستحمل جاذباً يسمى تكافؤ. وهكذا، اتحدت الذرات، التي تتفاعل وفقاً لطبيعتها، مع ذرات لتشكل جزيئات بسيطة. وعندما احتوت ذرتان معاً طاقة أقل من ذرتين منفردتين، فإن التشكيلات الجديدة كانت إيجابية من الناحية الدينامية الحرارية. وقد حدثت تلقائياً كما يتدفق الماء على منحدر. ويحتاج فصلها إلى طاقة. ونكرر القول إن هذا يُعتبَر نوعاً بدائياً للمعرفة. فذرة الأكسجين، مع فجوتين في غلافها الخارجي (تكافؤ ٢)، ستتحد بسهولة مع ذرتي هدروجين، كل منهما تحمل إلكتروناً منفرداً، لتشكيل الماء. وذرة السليكون، في بحثها عن أربع إلكترونات لإكمال غلافها الخارجي، ستبحث عن ذرتي

[117] نجد موجزاً لقصص الخلق المختلفة عند البيولوجيين في الفصل الثاني من Paradigms Lost لـ John Cati والذي حلله بتفصيل أوسع Robert Shapiro في كتابه Origins.

أكسجين لتكوين السِّليكات. كانت هذه التزاوجات ملائمة جداً إلى درجة أن السطح السليكاوي على الأرض تجمد وتغطى بالمحيطات، وهو وسط أمكن أن تتجمع فيه جزيئات أخرى، باحثة عن أزواجها الموسومة فيزيائياً.

وذرات الكربون، بسبب طبيعتها الكهربائية، مالت إلى الإمساك بأيدي ذرات كربون أخرى، لتشكيل سلسلة طويلة، C–C–C–C–C–C–C. ولكن تكافؤ الكربون هو ٤، وهكذا بقي الكثير من الأيدي حراً–يدان لذرات الكربون في السلسلة، وثلاث أيدي للذرات على كل طرف. وهكذا، فإن السلسلة طوقت نفسها بفراء كهروستاتي من هدروجين، وأكسجين، ونتروجين، وفسفور، وكبريت. وأحياناً ستجذب ذرة الكربون ذرة أخرى من الكربون، مفرِّخة سلسلة جانبية ذات تعقيد خاص بها.

إن هذه التنظيمات المتلوية للشحنة الإيجابية والسلبية، التي تصطدم عشوائياً ببعضها بعضاً في المياه القديمة، ستكتشف أحياناً أنها كانت متتامة: الصدمات والتعرجات على امتداد قطعة جزيء واحد تتلاءم مع التعرجات والصدمات على جزيء آخر؛ وشكلت توافقاً من الناحيتين الكهربائية والهندسية. وقد وُلِد مستعرفو الأنماط الأولى، الذين يتجاوزون مجرد معرفة الإيجابي والسلبي. يمكن لجزيء أطول أن يواجه جزيئين أصغر يلائمان أجزاء مختلفة من تشريحه المشحون؛ وهكذا يشبكهما معاً، بطريقة يتحدان فيها لتشكيل جزيء جديد أكثر تعقيداً. وهذا الجزيء الجديد يمكن أن يواصل العمل كحفَّاز لمزاوجة أزواج أخرى من الجزيئات. أو ربما نشأ جزيء صغير تشبث بإحكام على جزيء أكبر وشطره إلى جزيئين، مكوِّناً المادة الخام التي يمكن أن تستخدمها جزيئات أخرى لخلق تراكيب جديدة. فالإمكانيات لم تنته. ويمكن لجزيء تكوَّن في مكان ما في هذا النسيج أن يتثبت على نسيج أطول، وبسبب انفتاله بطريقة جعلته الآن تقبلياً لجزيء ثالث لا يميز عادة؛ أو ربما كان قد انفتل حيث تجاهل الآن الجزيئات التي كان يألفها.

جزيئات تخلق جزيئات، متقبلة أو صادَّة بعضها بعضاً. وفي وقت مناسب، نشأت تفاعلات متسلسلة حفز فيها الجزيء أ تشكُّل الجزيء ب، الذي حفز تشكُّل الجزيء ج. هنا، إذا حدث أن حفز الجزيء ج تشكل الجزيء أ، فإن حلقة التفاعل ستتشكل. وآنذاك أصبحت الحلقات مترابطة مع حلقات. كان الكثير من هذه النُّسُج هشاً، فانحل بسرعة كما تشكل. ولكن تلك التي استطاعت أن تُعيل نفسها بمرور الزمن أصبحت ما نسميه اليوم استقلابات. إن هذه الشبكات الكيميائية، باستيعابها جزيئات أصغر–الغذاء–من العالم حولها، تشكل باستمرار جزيئات كبيرة من جزيئات أصغر، وتفككها، وتشكلها من جديد. كانت المحيطات تعج بهذه الصفقات التي لا تتوقف، مشكِّلة نظاماً حيث كانت هناك عشوائية يوما ما.

إن مقاومة تيارات الأنتروبيا تستهلك طاقة طبعاً. وكما علَّمنا شيطان ماكسويل، يجب دفع ثمن دينامي حراري لقاء فرض نظام على العالم. كانت محيطات الخروج تستحم في ضوء نجم مجاور، ولكن كان يجب احتبال الطاقة، وتسخيرها، وتخزينها. فكان على جزء واحد من النسيج الاستقلابي، الذي شُحِن بفوتونات من الشمس، أن يشكل جزيئات مختزِنة للطاقة، كما لو كان يلف زنبركاً أو يضخ الماء إلى خزان في أعلى هضبة؛ أما الجزء الآخر، فيحطم القيود، محرراً دفق الطاقة لكي يزود بها المزيد من التفاعلات.

وتستمر القصة، وأخيراً أصبح بعض الاستقلابات هذه معلباً في جيوب الجزيئات لتشكيل ما نسميه اليوم خلايا. والخلايا، لكونها أطفال الجزيئات، ورثت موهبتها من أجل المعرفة: جزيء البروتين المطمور في غشاء

خلية واحدة سيجد شريكه المتمم في بروتين خلية أخرى. وهكذا، ترابطت الخلايا مع بعضها في أشكال معقدة لتشكيل المتعضيات التي أصبحت، بعد بلايين السنين من التطور، ماهرة جداً في اكتشاف الأنماط التي تُدفَع إلى كشف منطق خلاياها الخاصة، وإنشاء القصص حول كيف جاءت إلى الوجود.

ولكن القصص التي نرويها تترك معظم الأسئلة المزعجة دون أجوبة. فما الدافع لنشوء نظام من عشوائية؟ هل هو، في الأغلب، مسألة حظ، أم أنه نتيجة حتمية لقانون طبيعي؟ يمكن أن نتخيل منطقاً كيميائياً تتحد بموجبه جزيئات تغذت بطاقة شمسية مع جزيئات وهذه مع جزيئات أخرى، لتصبح معقداً، آنئذٍ حياً–ذا حياة. ولكن إلى أي مدى كان يحتمل أن تجتمع فقط القطع الصحيحة بطريقة صحيحة لإشعال اللهب، أي "حمى المادة،" كما يسميها توماس مان؟

منذ تعلمنا العلم لأول مرة، يبدو أننا جوبهنا باستبعاد لا يُصدَّق لوجودنا الخاص. حتى إذا استطعنا أن نعقد صلحاً مع سلسلة الأحداث الطارئة التي أدت إلى النجوم التي تولِّد الكربون، أو الأرض المتوازنة تماماً على المسافة الصحيحة من الشمس لكي تكون حاضنة محتملة للحياة، فإننا نبقى نتساءل عن التوافقات الإضافية التي قادت الجزيئات إلى التجمع في هذه الترتيبات الدقيقة ظاهرياً التي نسميها استقلابات. حتى مع إمكانية تخيل المختبر الأكثر حداثة وتماثلات الجدول الدوري في متناولنا، فإن جمع نوع واحد من جزيء بيولوجي يُعتبَر عملاً مجهداً. وذلك الذي حدث مراراً، منتجاً بروتينات وأحماضاً نووية، وشحوماً وسكريات–النوع المذهل للجزيئات الذي يتفاعل بدقة عالية لكي يولِّد الحياة–إنما حدث إلى حد بعيد، كما قلنا منذ زمن، بسبب التدافع العشوائي خلال دهور من الزمن، أي ذرات تصدم ذرات في البحر البدائي. طبعاً، عندما اجتمعت المجموعات المستقرة مع بعضها بعضاً، فإن الاصطفاء الطبيعي ضمن أن الجزيئات "الأصلح"–تلك التي تكيفت على نحو أفضل مع البيئة المالحة–هي التي ستزدهر. وإذا صدف واجتمع جزيء أو حشد من الجزيئات مع بعضها بعضاً وكانت تتمتع بالقدرة على نسخ نفسها–تكرير نفسها– فإنه من الطبيعي أن تكون مثمرة ومتضاعفة. ولكن ما مدى احتمال أن تنشأ أولاً الجزيئات التي تكرر نفسها، أي المنافسة في قصة البطولة الداروينية؟ قدَّر بعض العلماء أن الأرجحيات ضعيفة جداً في أن لهب الحياة يمكن بسهولة كبيرة ألا يشتعل أبداً.

وهكذا نجلس نحن هنا، في نهاية سلسلة طويلة من الإلكترونات التي تتعرف إلى إلكترونات، وذرات تتعرف إلى ذرات، وجزيئات تتعرف إلى جزيئات، وخلايا تتعرف إلى خلايا–هذا يدفع إلى اكتشاف النمط الذي يتجذر في جوهرنا بالذات. وبعد غوص الأنماط حولنا، تجابهنا إمكانية أن نكون ضربات حظ أو معجزات. ولكن أدمغتنا، التي شحذها التطور لكي تشكل سلاسل طويلة من التفسير السببي، لا يمكن أن تستريح دون قصة أكثر إقناعاً. إن وجود هذه الأنماط الجميلة كان إلى حد ما مقصوداً بالتأكيد.

في معهد سنتافي، يجد المرء كثافة عالية إلى حد غير مألوف من الناس الذين يناقشون فكرة أننا مخلوقات الصدفة، التي تؤمن بما كان يُعتبَر يوماً هرطقة: هناك حتمية للحياة. وكما قلنا سابقاً، إن التفسيرات الجديدة لنظرية الكم التي عرضها فوجسيتش زيورِك، وجيمس هارتل، وموري جل–مان أعطت مبرراً للاعتقاد بأن الإچيوزات، أي أنظمة جمع المعلومات واستخدامها، هي جزء طبيعي من الكون، موجة شرودنچر الخاصة هذه التي نمتطي ذراها. وبالتنقيب عميقاً بقدر ما تعمقوا في فيزياء الكم، يستنتج الناس أن جمع البِتَّات–أفضل شيء

يقومون به-أساسي كأي شيء آخر أساسي. فلكي ينشأ الواقع الكلاسيكي من إمكانية كمومية، يجب استبدال المعلومات.

ومع ذلك، لا شيء في نظرياتهم يفرض أن تكون المخلوقات الحية هي المخلوقات التي تجمع المعلومات. فالمعلومات تتدفق بالسهولة نفسها في عالم مَوات تماماً. ولكي نجد مكاناً لأنفسنا بين النجوم، علينا أن نحوِّل بصرنا إلى اتجاهات أخرى. وباتباع طريق مختلفة تماماً، انتهى بعض البيولوجيين إلى الاعتقاد بأن ظهور الحياة نفسها مسجل في القوانين الكونية، التي هيأت لكل شيء شروطاً كالشروط التي هيأتها للأرض المبكرة- وربما كانت شروطاً مختلفة إلى حد متطرف-التي تدفع إلى توقع أن مخلوقات من نوع ما ستظهر من الظلمة وتبدأ بتقسيم العالم إلى أصناف.

إن بعض الأنماط الأكثر مناكدة، تلك التي تثير نسيجنا العصبي، هي الموجودة داخل خلايانا، وتلك التي نجدها عند كل مخلوق على الكوكب: الحلازين الطويلة للنِّكْليوتيدات[118] nucleotides، والدَّنا[119] DNA والرَّنا[120] RNA، التي تحمل المعلومات لتصنيع البروتينات، وهي سلاسل الأحماض الأمينية التي تشكل بناء أجسامنا، وهي، بوصفها أنزيمات، توجه الفوضى الكيميائية إلى شبكة التفاعلات التي نسميها حياة. منذ مزَّق جيمس واطسون وفرنسيس كريك حلزون الدَّنا المزدوج، كان صعباً ألا نعتبر الكيمياء الخلوية كلغة، ذات تراكيب وراثية مرمَّزة[121] بأربعة رموز جزيئية: A، وT، وG، وC، التي تمثل أدينين Adenine، وتيمين thymine، وجوانين guanine، وسيتوزين cytozine النِّكْليوتيدات. (في الرَّنا، يُستبدَل اليوراسيل uracil بالتيمين، أي U بـ T.) ويقال إن ثلاثي هذه النكليوتيدات "يمثل" كلاً من الأحماض الأمينية العشرين التي تشارك في الحياة الأرضية. ومن كل الطرق التي يمكن للذرات فيها أن تتحد لتشكيل جزيئات، تم نخل فقط أربعة أنواع من النكليوتيدات وعشرين نوعاً من الأحماض الأمينية من الفوضى لكي تعمل كمفردات لغوية. من هنا جاءت الشبهة بأن الحياة كلها، النبات والحيوان، نشأت من الجد الكوني نفسه، الذي صدف أن حمل هذه المجموعة الثانوية من الجزيئات داخل غشاء خليته الوحيدة.

في الراموز الذي انحدر على الخط، يمثل GCA ألانين alanine الحمض الأميني؛ وCAC يعني الهِستيدين histidine، وAAA هو الليزين lysine، وUGG هو التِّربتوفان tryptophan. وهكذا فإن خيطاً مؤلفاً من أبجدية أربعة أحرف للدنا يمكن أن يرمِّز سلسلة من أربعة أحماض أمينية، أي بروتين. وتعترينا الدهشة كلما سمعنا كيف أن الشيفرة الجزيئية، هذا التسلسل لـ A، وC، وT، وG، تُنسَخ بسهولة كبيرة كل مرة تنقسم فيها الخلية: كيف تتضامُّ بحميمية A مع T، وG مع C، لكي تشكل تسلسلات النكليوتيدات بصورة طبيعية أزواجاً متتامة، هي الحلازين المزدوجة. فإذا سلخنا ضفيرتي جزيء الدَّنا وغمرناهما في حساء نكليوتيدات منفردة، فإن

---

[118] -أو النَّوَويدات-المترجم.

[119] -الحمض النووي الريبي المنقوص الأكسجين-المترجم.

[120] -الحمض النووي الريبي-المترجم.

[121] -ورد اكتشاف الراموز الوراثي في الجزء الأول من thr fight day of Creation لـ Horace freeland Judson. و James Watson، وهو أحد مكتشفي البنية الحلزونية المزدوجة للدنا، قدم نصيبه في the double Helix. وكتاب Molicular Biology of the Gene لـ Watson أصبح مرجعاً قياسياً حول هذا الموضوع.

كل نصف سيتعرف إلى قِطَعِه المفقودة، ويجد في طلبها لإعادة خلق الكل.

تروعنا جداً قدرة الحلازين المزدوجة إلى درجة يكون معها طبيعياً الافتراض بأن الرقص الكيميائي الذي أدى إلى ظهورنا يجب أن يكون قد بدأ بتكرير سلاسل التكليوتيدات، واجتماعها، وانشطارها، ونسخ نفسها في كل مكان من البحر، حتى تعلمت أخيراً صناعة البروتين وتعليب أنفسها في خلايا. هذه، في الواقع، هي الرؤية السائدة بين البيولوجيين، أي أن الحياة بدأت في عالم رنا (تصنيع الرنا أسهل إلى حد ما من تصنيع الدنا). والمشكلة، كما يبيِّن البيولوجيون بسرعة، هي أنه يمكن فقط بصعوبة وذكاء كبيرين استحضار مكونات نكليوتيد وحيد من دورق حساء بدائي: السكر (الريبوز ribose بدلاً من الرنا، والريبوز المنقوص الأكسجين بدلاً من الدنا)، والأسس الحلقية الشكل للبورين purine أو البيريميدين pyrimidine التي تعطيه هويته كـ A، T، G، C، أو U. ومع إعطاء ما يكفي من الوقت، ربما يكون حدوث هذه التفاعلات بعيد الاحتمال دون مساعدة كيميائي. ولكن حتى مع افتراض وجود إمداد من هذه المكونات، فإنه سيكون شاقاً الحصول عليها وجمعها بالطريقة الصحيحة لصنع التراكيب الدقيقة التي انتهينا إلى تسميتها بالنكليوتيدات. وحتى إذا أمكن جمع النكليوتيدات، فإن الماء سيعمل باستمرار على تمزيق الأربطة. فكيف تقوم الخلايا بذلك؟ بأنزيمات البروتين، التي تثبت القطع تماماً هكذا، محفِّزة التفاعلات التي، لولا ذلك، ستكون فرصة حدوثها ضئيلة جداً.

لنقبل مؤقتاً استبعاد أن إمداداً صغيراً من النكليوتيدات اجتمع في مياه الأرض البدائية. ويترابطها في سلاسل، ستشكل أحماضاً نووية[١٢٢] تنقسم وتتكرر، لتحتل الوسط بضع بذور. ولكن، كيف حدثت البذرة الأولى، أي السلسلة الأولى؟ نحن نعرف كيف تشكل خيوط النكليوتيدات أزواجاً، G تتزاوج مع C، وA مع T، يمليها لا شيء أثيري أكثر من الكيمياء البُعدِيَّة.[١٢٣] ولكن ذلك لا يوضح من أين جاءت الخيوط نفسها. والتزاوج المتتام يوضح كيف تعمل GCATTA كمرصاف لصنع CGTAAT. ولكن كيف حملت الطبيعة GCATTA على الاندماج أولاً، متماسكة الأيدي على امتداد البعد الآخر العمودي؟ ولكي تعبر عن نطاق واسع من البروتينات، فإن A، وT، وG، وC يجب أن تُسْلِك نفسها معاً في خيط في أي ائتلاف، لتشكيل أية رسالة اعتباطية–أي مصدر قدرة الراموز الوراثي. ويتم إنجاز هذا، داخل الخلية، بالأنزيمات. وفي عالم الرِّنا الصرف، قبل ولادة البروتينات، فإن كل هذه التفاعلات (A يتبعه A، أو T، أو G، أو C؛ T يتبعه A، أو T، أو G، أو C–ستة عشر جملة) يجب أن تحدث تلقائياً.

لنفترض أننا قبلنا بهذه الرميات الطائشة أو المعجزات، وجمعنا بطريقة ما، وهو ربط عجيب، التسلسلات التكريرية للأحماض النووية، التي تنسخ نفسها مراراً ومراراً. عندئذٍ تصبح البحار مليئة بأنواع مختلفة من الأحماض النووية، كل منها مع سلسلته الفريدة من الأسس النكليوتيدية. إن طفرة عرضية–G حيث يجب أن يكون C–ستضمن بحيرة متغيرة دائماً من المُكَرِّرات replicators. هنا، إذا استطاع المتبقي أن يطور، بطريقة ما، آلية لترجمة تسلسلاته إلى سلاسل أحماض أمينية، عندئذٍ تولد البروتينات. وتلك المُكرِّرات التي ترمِّز للبروتينات التي صادف أن تحسنت قدرتها على البقاء والتوالد، سوف تقوم بطرد جيرانها الأضعف, وهكذا يدخل

---

[122] قضية مع وقضية ضد فكرة أن الحياة نشأت من الأحماض النووية جات في كتب Casti و Shapiro.

[123] -أو المجسمة-المترجم.

الاصطفاء الطبيعي إلى القصة مما يؤدي إلى تراكيب صالحة أكثر وأكثر، منتهية ربما في الخلية الأولى.

ولكن نعود إلى القول إن احتمال أن تقوم سلسلة نكليوتيدات (وجودها بالذات اليوم لا احتمالي إلى حد بعيد)، دون محفزات البروتين، بتطوير القدرة على جمع بروتين ما يبدو ضئيلاً إلى حد لا يمكن تخيله. إن الدَّنا[١٢٤] جميل وأنيق جداً، تتضفر بنيته ووظيفته إلى حد مثالي جداً، حتى أنه يسهل سقوطه ضحية لأسطورة المَجين[١٢٥] genome بوصفه متحكماً مركزياً، يتمتع بالقدرة على بناء وتشغيل الخلية. وفي الواقع، لا تعمل الآلية بانسيابية أو استقلالية كبيرة كما يُفترَض أحياناً. فالترميز لأنزيم يتطلب سلسلة نكليوتيدات طويلة جداً، ولكن السلسلة الطويلة لا تستطيع أن تكرر نفسها دون أن تربكها أخطاء التكرار العشوائي-إلا إذا ساعدتها الأنزيمات، أي مصححات التجارب الطباعية المعروفة، التي تضمن أن تكون النسخة أمينة بقدر الإمكان. أو لندرسْ العملية المعقدة التي يتم بها ترجمة الراموز الوراثي إلى بروتينات: تنسلخ ضفيرتا حلزون الدنا المزدوج، مما يكشف قطعة من النكليوتيدات التي تُنسَخ بواسطة جمع ضفيرة متتامة للرَّنا المرسال المعروف. في العملية، "تُحذَف" استطالات تسلسلات الدنا العديمة المعنى ظاهرياً، وهي الأنترونات introns المعروفة. وكل مرحلة في هذه العملية تتطلب أنزيمات. وعندئذٍ يتم ترميز الرنا المرسال المختصر، الذي يحمل الإشارة الوراثية، من قبل الريباسات ribosomes، وهي تراكيب من أحماض نووية وبروتينات، التي تزود كل مثلوث نكليوتيد بالحمض الأميني الملائم. فكيف يتم هذا؟ يعوم في هيولى الخلية نوع آخر من جزيء حمض نووي، هو رنا النقل، الذي يعمل كنوع من سدادة ملاءمة، توائم النوعين من الجزيئات. فعلى سبيل المثال، يتألف جزيء واحد من رنا النقل من مثلوث GCA الذي يتجه إلى ألانين الحمض الأميني؛ وفي جزيء آخر، يتجه CAC إلى الهِستيدين. تتواءم هذه التجمعات من رنا النقل مع أماكن متتامة على الضفيرة الطويلة للرنا المرسال، مكونة تسلسلاً من الأحماض الأمينية، التي تتحد بعدئذٍ لصنع البروتين.

كيف يوائم رنا النقل مثلوثه من النكليوتيد مع الحمض الأميني الملائم؟ جميل أن نعتبر أن الملاءمة كانت طبيعية وأنيقة كالتطابق بين ضفائر الدنا المتتامة، وأن حياطات كل مثلوث في جزيء رنا نقل تطابق حياطات الحمض الأميني، لكي تلتصق GCA، مثلاً، بصورة طبيعية بالألانين. في الواقع، إن الملاءمة ظاهرياً غير طبيعية إطلاقاً ولكن مع ذلك تحدث بوساطة المزيد من الأنزيمات، المتخصصة في صنع هذه الترابطات المختلفة غير المرغوبة. يمكن بسهولة أن يتخيل المرء مجموعة مختلفة كلياً من الأنزيمات التي تربط، على سبيل المثال، GCA بالترِبتوفان بدلاً من الألانين، وCAC بالأسباراجين asparagine بدلاً من الهستيدين. ومع التسليم بالمدى الواسع من الأنزيمات الممكنة، يحتمل أن يكون الراموز الوراثي اعتباطياً، حادثة متجمدة تنشأ من الأنزيمات التي يصادف وجودها هنا وهناك عندما تبدأ الأحماض النووية بتصنيع البروتينات. وفي الواقع، نادراً ما تكون أي من التفاعلات داخل الخلية "طبيعية"؛ فمع الأنزيمات المختلفة، ستتوجه الجزيئات على امتداد مسارات مختلفة كلياً. والأنزيمات هي التي تجهِّز الدارئة التي تتيح للجزيئات تحرير نفسها من إملاءات الكيمياء وتخلق تراكيب معقدة غير مرغوبة؛ والأنزيمات هي مصدر الاعتباطية العجيبة للحياة.

---

[124] حول أسطورة الدنا بوصفه المحكِّم الرئيس للخلية. انظر كتابه Richard Lewontin -كتب البيولوجي Biology as Ideology.

[125] -مجموعة العوامل الوراثية-المترجم.

ومع التسليم باعتماده التام على البروتينات، فإن الدنا يبدو شبيهاً بمتحكم رئيس أقل منه كاتباً، يسجل سلبياً المعلومات التي يحتاجها الممثلون الحقيقيون، أي الأنزيمات. ومع ذلك، فإن جزءاً فقط من المعلومات اللازمة لصنع البروتينات موجود في الدنا. إن تسلسل النكليوتيد ليس انضغاطاً خوارزمياً بسيطاً للبروتين. ورامـوز الحمض النووي يحدد تسلسل الأحماض الأمينية، ولكن البروتين ليس سلسلة خطية للجزيئات. وعندما يُجمَع، فإنه ينطوي دينامياً حرارياً إلى حالة طاقة أدنى، مما يؤدي إلى الشكل المعقد الذي يمنحه قدرته التحفيزية. ومحاولة تعيين الشكل الثلاثي الأبعاد للبروتين[١٢٦] من شيفرته الوراثية تنطوي على مشكلات كبيرة للعلم لم تجد لها حلاً، وهي مشكلات ترهق الحواسب، والبرامج، والعقول البشرية الأكثر قدرة في لوس ألاموس وغيرها. إن المناطق المشحونة تضادياً تنجذب إلى بعضها بعضاً، بينما تتنافر المناطق المشحونة تماثلياً. ويتأثر الشكل النهائي، إلى حد بعيد، بالبيئة الكيميائية للخلية. ودون هذا المحيط، سيكون الراموز الوراثي دون معنى.

وعلى ضوء الضرورة التي لا مفر منها لأنزيمات البروتين، فإنه من المغري أن نعكس الشكل والأرض وندرس إمكانية أن تكون البروتينات قد جاءت أولاً، وفيما بعد شكلت الأحماض النووية لكي تساعد التكرر. إن تشكيل الأحماض الأمينية أسهل من تشكيل الأحماض النووية. في تجربة بارزة عام ١٩٥٢، حاول ستانلي ميلر، خرِّيج الكيمياء من جامعة شيكاغو، ومرشده الأكاديمي، هارولد أوراي، أن يعيدا خلق الغلاف الجوي للأرض في دورق. فملأ الجهاز ببخار الماء، والهدروجين، والميتان والأمونيا–وهما مُركَّبا الكربون البسيطان اللذان يُظَن غالباً أنهما وُجِدا عند الخلق–وعرَّضا المزيج لشرارت كهربائية (محاكاة البرق) على مدى أسبوع، وبعدئذٍ فحصوا المنتجات الثانوية. فشلت التجربة الأولى في إنتاج أي شيء ذي أهمية باستثناء القطران اللزج. ولكن أخيراً، استطاع ميلر، عن طريق معالجة بعض المتغيرات، أن ينتج الجليسين والألانين، وهما الحمضان الأمينيان الأكثر بساطة المستخدمان في البروتينات. فما الزمن الذى انقضى قبل أن تبدأ مخلوقات صغيرة تزحف من الدورق؟ أولاً، يجب أن يحسب المرء كيف تتشكل سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية. ونكرر القول إنه يحتاج إلى قدر لا يُصدَّق من الحظ، أو الأنزيمات. ومن أين تأتي؟ هل تأتي من أنزيمات أخرى؟ في مرحلة ما يجب أن نوقف استجداء السؤال ونقترح نوعاً من آلية بناء تُسلِك الأحماض الأمينية مع بعضها بعضاً، والآلية الوحيدة التي نعرفها تتطلب مراصيف أحماض نووية. ولكن يُنتظَر وصولها إلى المسرح فقط بعد أن نحمل الأنزيمات على صنعها. وكيف يعاد إنتاج البروتين دون مراصيف أحماض نووية؟ عندما تُسلَك سلسلة الأحماض الأمينية مع بعضها بعضاً وتنطوي تلقائياً إلى كرة ملتفة، كيف يمكن أن تُنسَخ؟ يجب أن يفترض المرء آلية لحل خيوطها وقراءتها، حمضاً أمينياً فحمضاً أمينياً. وليس هناك دليل على أن شيئاً من هذا كان موجوداً يوماً.

أياً كانت الطريقة التي ننظر فيها إلى الحياة، فإنها تبدو معجزة أو رمية من غير رام. كل المخلوقات تُبنى من نوعين من الجسيمات المعقدة، كل منهما يبدو أنه يتطلب وجود الآخر: أحماض أمينية مما يسميه البيولوجيون النمط الظاهري (الجسم)، وأحماض نووية من النمط الجيني (الترميز). وتتكرر أحجية الدجاجة

---

[126] درست أيضاً مجموعة البروتينات الأولى. Shapiro و Casti -إن كتب

والبيضة نفسها على مقياس جزيئي. فإذا كان الواحد لا يمكن أن يوجد دون الآخر، فكيف تنشأ الاعتمادية المتبادلة؟

يكافح أولئك الذين يصرون على أن الأحماض النووية جاءت أولاً لإثبات أن الرنا، في ظل شروط خاصة معينة، يمكن أن يبدي قدرات حفازة ضعيفة. في غضون ذلك، يَجهَد أنصار البروتين أولاً لإثبات كيف أمكن للأحماض الأمينية أن تتولد، على نحو يمكن تصوره، دون مراصيف أحماض نووية. وسواء صدق المرء أن دجاجة البروتين أو بيضة الأحماض النووية هي التي جاءت أولاً، عندما يضاعف كل الاحتمالات الضئيلة التي تبدو ضرورية لتطور المواد الكيميائية إلى خلايا، فإنه يصعب عليه ألا يستنتج أن الحياة عرضية في الواقع- نتيجة لا يمكن توليدها. وفي الواقع، على مدى سنوات، استبعد أي اقتراح يقول إن الحياة دُفعَت بأي شيء يمكن أن يُفسَّر كغرض أو حتمية بوصفه مذهباً حيوياً، أي الاعتقاد بقوة باطنية ذاتية الدفع للحياة. وما أصبح خطأً مشتركاً عبر عنه ببلاغة جاك مونود في كتابه *الصدفة والضرورة*. جاء العنوان من ديموقريطُس: "كل ما يوجد في الكون هو نتيجة الصدفة والضرورة." يسمى هذا في علم الحاسوب الحديث "العشوائي يلد ويختبر." فالتراكيب تُجمَع جزافاً، ثم تُرشَّح من خلال المنخل الموضوعي للتطور.

وجد الكوزمولوجي فرِدّ هُويْلِ أن هذه الفكرة للحياة التي تنشأ من عشوائية مستبعدة جداً إلى حد أنه قارنها بإعصار يندفع خلال مقلب نفايات وتجميع طائرة ٧٤٧، وهو اقتباس ما يزال حياً لدى التوراتيين القائلين بالخلق. نظر هويل[١٢٧] إلى الفضاء الخارجي بوصفه مصدراً للتلوث الأرضي، ونظر المؤمنون بمبدأ الخلق إلى إله راعٍ عالِم. رفض معظم العلماء هويل، والمؤمنين بمبدأ الخلق، والحيويين بوصفهم أناساً يفتقرون إلى الخيال، يعميهم العجز عن تخيل إله أكثر اقتداراً: الزمن الجيولوجي المديد[١٢٨]. ويمكن أن يحدث أي شيء في حقبة وجود الأرض المقدرة بـ ٤.٥ بليون سنة، كما يقولون.

ولكن هذا أيضاً استجداء للسؤال: إذا لم يستطع المرء أن يقدم شرحاً معقولاً حول كيف نشأت الحياة، فإنه يمكن دائماً أن يلجأ إلى دهور لا نهاية لها. ويمكن للمرء أن يقول أيضاً إن الحياة جاءت من الفضاء أو خلقها وجودٌ كلي القدرة. والزمن الجيولوجي أيضاً ليس مطلقاً. وفي الواقع، يكتشف العلماء باستمرار أن الزمن الذي أمكن للحياة أن تنشأ فيه ليس طويلاً جداً كما كانوا يفترضون. فالتأريخ الإشعاعي يقدِّر عمر الأرض بـ ٤.٥ بليون سنة. ولكن تجمد الكوكب، في السيناريوهات التي رسمها الجيولوجيون، كان حاراً وقُصِف بنيازك قادرة إلى حد جعل البحار تغلي–قاسياً جداً، إلى درجة يحتمل معها أن لا تكون نافذة الحياة قد فُتحَت قبل مضي ٣.٩ بليون سنة. ولتقدير متى أُغلقَت، يجب أن نكتشف المستحاثات الأقدم للخلايا الوحيدة. واليوم، بعيداً عن ساحل أستراليا، هناك طحالب خضراء مزرقّة، يُظَن أنها أقدم المتعضيات على الأرض، تشكل مستعمرات، تُراكِم في مدى عمرها طبقة من حطام معدني. وتتشكل على سطح الطبقة مستعمرة أخرى من الطحالب، صفاً فوق صف، مما يؤدي إلى إنشاءات مقببة تسمى القُرارات الكلسية الطُحلبية الطباقية stromatolites. إن التكونات الجيولوجية التي يُعتقَد أنها قُرارات كلسية طحلبية طباقية مؤرخة إلى ما لا يقل عن ٣.٥٦ بليون سنة مضت.

---

127 من أجل نظرية هويل القائلة بأن الحياة جاءت من الفضاء الخارجي، انظر كتابه Evolution From Space: A Theory of cosmic Creation.

128 الزمن منذ نشأة الأرض (قبل حوالي ٤.٧ × ١٠٩ سنة)-المترجم.

وهكذا نُحمَل على الاعتقاد بأن هناك، بين الزمن الذي كانت فيه الظروف ناضجة للحياة والزمن الذي نكتشف فيه المستحاثات الأولى، أي بضع مئات من ملايين السنين المنقضية، مدى واسعاً من الزمن ولكن ليس زمناً لا يُسبَر غوره.

ولكن يجب أن ننظر إلى مدى هذه الفترة الفاصلة بارتياب. فهي تعتمد على شبكة الافتراضات التي تشترك في التأريخ الإشعاعي وعلى صحة اللُّقى الإحاثية. فالخلايا الوحيدة لا تُخلِّف عظاماً. وما يبدو لجماعة من العلماء كأنه علامات لمتعضيات ابتدائية ترفضه أحياناً جماعات أخرى باعتباره زخرفة جيولوجية. ولكن العلماء الذين يدرسون هذه الحالات يجمعون على أن الفترة التي يمكن أن تكون الحياة تشكلت فيها قد تقلصت. وعندما تضيق النافذة، فإن التواقتات تقترب شيئاً فشيئاً إلى مجال الـ "صالح جداً لكي يكون صحيحاً." وإذا سلمنا بوجود مورد للأنظمة الجزيئية المكررة للذات، فإن الاصطفاء الطبيعي يمكن أن يكون قوياً بما يكفي لصوغها إلى خلايا معقدة في مئات ملايين السنين. ومع كل ذلك، يستغرق تطور قرد إلى إنسان أقل من عشرة ملايين سنة. والمشكلة المحيرة أكثر في الأنظمة الجزيئية المكررة للذات هي مشكلة الدجاجة والبيضة وأيها نشأ أولاً. وقد أدى حساب الاحتمالات ببعض العلماء إلى أن يقرروا ببساطة أنه ليس هناك عالم كافٍ أو زمن. فإما أن نكون أطفال صدفة، أي حادثة تحدث مرة واحدة في حياة الكون، أو نشأنا من مصدر ما طبيعي لنظام.

أصيب البعض بالإحباط لعجزهم عن تمزيق الاعتمادية المتبادلة للنمط الوراثي والظاهرة الوراثية التي يراقبونها فيما وراء الكيمياء العضوية بحثاً عن مصدر النظام. والبحث عن منشأ الحياة يمكن اعتباره كالبحث عن شيطان ماكسويلي، وهو "مخلوق" صغير جداً تسمح له قدرته على تمييز الأنماط بإنشاء تراكيب وسط الفوضى، للتغلب مؤقتاً على الأنتروبيا–يدفع، طبعاً، الكلفة الدينامية الحرارية عن طريق حرق الطاقة وتصدير الحرارة (الذبذبات الجزيئية العشوائية) إلى المحيط. والأنزيمات تصنع شياطين عجيبة، ولكن يبدو أنها تحتاج إلى شياطين آخرين قبل أن تنشأ. وإذا كانت هذه الشياطين تحتاج إلى شياطين، عندئذٍ ينحدر المرء بسرعة إلى نكوص لا نهائي. خامرت بعض العلماء، كالعالم فرنسيس كريك،[١٢٩] فكرة أن الشيطان الأصلي كان عالماً خارجأرضي أرسل البذور إلى الأرض على سبيل التجربة. ولكن هذا التفسير ليس مرضياً أكثر من تفسير سفر التكوين.

عندئذٍ، يتراجع سر نشوء الحياة إلى هذا: إيجاد شيطان يمكن أن ينشأ دون شيطان. وهذا سيضع نهاية لتلك الردهة المدوَّخة من مرايا المظهر الوراثي والنمط الوراثي ويسمح بإمكانية توقف موكب لا نهائي من الشياطين.

ولكن أين نحفر للبحث عن هذا المنبع النهائي للنظام البيولوجي، هذا الشيطان الأعمق؟ إن المكان الأكثر وضوحاً من أجل البحث هو داخل قوانين الفيزياء بالذات. فإذا أمكن إثبات أن الحياة مُمْلاة بطريقة ما من قبل تناسقات الكيمياء، عندئذٍ لا تكون أرجحيات وجودنا هزيلة إلى حد مخيف. وبتتبعهم لهذا الخيط، بحث بعض العلماء عن طرق يمكن أن تكون فيها السطوح الهندسية لمعادن، كالبيريت، قد عملت كالمحفزات الأولى، التي تعمل شُبيْكاتها الجزيئية الموجودة بصورة طبيعية كمجموعات الكيمياء القليلة، موجهة التفاعلات غير المرغوبة بطريقة أخرى. ومضى آخرون بعيداً جداً للافتراض بأن نوعاً ما من الحياة المعدنية سبق الحياة العضوية. فالسِّليكون والأكسجين، الذرتان الأكثر وفرة على الأرض، اللتان لا تمتثلان إلا لقوانين الكيمياء، تتشكلان تلقائياً

---

[129] نظرية الأصول الخارج أرضية لفرنسيس كريك، في كتابه Lifr Itself.

إلى سطوح وأشكال بلُّورية. وعندما تتناثران، فإن أجزاءهما يمكن أن تعمل كبذور لتشجيع نمو المزيد من هذه النماذج المتناسقة. أو يمكن أن تعمل بلُّورة كمُعيِّرَة: الذرات ستنظم نفسها على سطحها، مشكلة طبقة فوق طبقة، كطبقات الميكا. وفي كل من الطريقتين، نحصل على نسخة مطابقة من نوع عادي.

ولكن ماذا عن الراموز الوراثي؟ ربما تكون اختلالات صغيرة جداً–ذرة معدنية استبدلت بذرة أكسجين أو طبقة أساءت التراصف إلى حد طفيف–قد تكاثرت عندما نمت البلورة ونسخت نفسها. وأحياناً يحدث خلل لتغيير بلورة ما إلى حد أنها كانت أكثر فعالية في التبلور أو نشر نفسها. يمكن أن تكون بعض الأشكال أكثر ميلاً إلى الالتحام ببعضها بعضاً، فتسد جدولاً من الماء وتشكل بحيرة مضيافة للتبلور. وعندما تجف بعض هذه الأشكال بواسطة الشمس، فإنه يمكن أن تكون أخف لكي تحملها الريح بسهولة أكبر كبذور الهندباء البرية. وفي النهاية، يمكن لبعض هذه البلورات أن "تكتشف" كيمياء عضوية. وعن طريق الصدفة، يمكن أن تطور أشكالاً تعمل كمحفزات أولية، تشجع على تشكل جزيئات سلاسل الكربون. وفي مرحلة ما، تصبح هذه المبتكرات الكربونية فعالة أكثر من النواسخ replicators البلورية، دافعة إياها إلى خارج السوق الكيميائية. ويبشر الاستقلاب المعدني بالاستقلاب الكربوني الذي نجده في خلايانا. ومع البناء الجديد في المكان، ستنهار السقالة. ويسمي الكيميائي البريطاني، چراهام كيرنز–سميث،[١٣٠] الذي ابتكر أكثر هذه القصص تعقيداً، التي تتضمن صلصال النسخ، هذا الاغتصاب بـ "التعهد الوراثي".

هذه النظرية، بطبيعة الحال، تخمين صرف. ويبدو أن الخلايا لا تحتوي على آثار لا وظيفية من استقلاب معدني قديم. ومع ذلك، فإن هذه الفكرة لتجذر الحياة في نظام الكيمياء يصعب مقاومتها بالنسبة لأولئك الذين يبحثون عن سبب لوجودنا. فالكيميائي الحيوي هارولد موروڤيتس،[١٣١] من جامعة جورج ماسون وعضو الهيئة العلمية في معهد سنتافي، يعتقد بأن الاتجاه البيولوجي يستخف بقدرة الجدول الدوري على توليد الحياة. وهو على قناعة بأن الاستقلابات في خلايانا لا يشكلها التاريخ الخاص الذي صدف أن تفتح على هذا الكوكب، بل قوانين جدول مندليف.

ويشكك موروڤيتس بمحاولات كيرنز–سميث لاستخدام صلصال النسخ بوصفه الشيطان الماكسويلي الذي صنف الجزيئات الأولية. ويمكن أن تكون كل آثار الاستقلاب المعدني قد جُرِفَت منذ وقت طويل مضى، وهي المعلومات التي تبددت إلى غور لا نهائي في الكون. ولكن موروڤيتس يعتقد بأنه إذا توجب علينا أن نقيد البحث عن أصول الحياة ونتفادى شطحات الخيال، فإنه ينبغي ألا ننظر إلى أبعد من الكيمياء الخلوية التي ورثتها كل الأشياء الحية من المتعضي الأول الوحيد الخلية، الجد الكوني. وأمله، كما عبر عنه، هو أن "الاستقلاب يلخص النشوء الأحيائي،" أي أن المفتاح إلى نشوء الحياة هو الكيمياء في خلايانا الخاصة، مستحاث عمره أكثر من ٣.٥ بليون سنة.

ويأمل أن يُثبِت أنه إذا كنا عَرَضيين، فإن الحادث الطارئ الذي أدى إلى وجودنا يكون، على الأقل، قد حدث منذ زمن طويل مضى، أي بعد الانفجار الكبير بوقت قصير، عندما تجمدت قوانين الفيزياء. ويحلو له الاعتقاد

---

130 وردت نظرية التعهد الوراثي لـ Graham Cairns في كتابه seven clues to the Origin of Life: A Scientific Detective Storu.
131 وردت نظرية هارولد موروڤتس المحطمة للمعتقدات في كتابه beginning of cellular Life.

بأنه عندما بُذِر الكون بعناصر الجدول الدوري، فإن الاستقلابات كانت نهاية سابقة، أي نتيجة طبيعية للكيمياء. وعلى كل حال، إن الحياة في الكون على المستوى الاستقلابي تشبه كثيراً ما كان يجب أن تكون عليه. "إذا وجدنا حياة في مكان آخر في الكون، " قال موروفيتس مرة، "فإنني أعتقد أنها ستكون قائمة على الكربون وأنها ستتضمن دورة كريبس Krebs cycle، أي التسلسل المألوف للتفاعلات الكيميائية الحيوية التي تدرس في صف البيولوجيا.

إن النسيج الكثيف للتفاعلات التي تسكن الخلايا الحية يمكن تمثيله بما سماه موروفيتس يوماً باحترام المخطط الاستقلابي الكوني، وهو كتلة متشابكة من الخطوط والأسهم التي تشبه الرسم التخطيطي لشريحة حاسوب، أو نظرية مؤامرة عظيمة–صناديق مربوطة بصناديق مربوطة بصناديق. وعلى سبيل المثال، يتضمن هذا المخطط التمثيل الضوئي، الذي تُسخَّر فيه الطاقة الشمسية لسَلْك الجزيئات البسيطة لثاني أكسيد الكربون والماء إلى الغذاء الجزيئي الذي يسمى چلوكوز. وهناك انحلال الچلوكوز ودورة كيربس، اللذان يتفكك فيهما الچلوكوز لإطلاق الطاقة، مما يعطي ثاني أكسيد الكربون والماء كفضلات فضلات. وكل متعضٍّ على الأرض هو مجموعة دنيا من المخطط. يحدث التمثيل الضوئي فقط في النبات. فالفطور تتمتع بقدرة غير عادية على تركيب البنيسيلين، أي الثيوبكتريا thiobacteria لاستخلاص الطاقة من الكبريت–كل هذه السبل الكيميائية تُمَثَّل في المخطط. وقد أُغلقَت بعض السبل الحاسمة بالنسبة لمخلوق ما في وجه مخلوق آخر، ويحتمل أن يكون الإغلاق من طفرة عشوائية حدثت منذ أمد طويل جداً. ويفتقر الناس إلى القدرة على تركيب حمض الاسكوربيك ولهذا يجب أن نتناول الڤيتامين C.

ومع ذلك، إن اللافت أكثر هو التماثلات بين الاستقلابات: كل خلية على الكوكب، سواء كانت جرثوماً وحيد الخلية أو جزءاً من نبات أو حيوان متعدد الخلايا تتكون من الجزيئات العضوية الخمسين نفسها، التي يمكن أن نعتبرها قلب المخطط الاستقلابي، أي القاسم البيولوجي المشترك. يمكن أن تحصل الحيوانات على الطاقة من تفكك السكريات، والثيوبكتريا من الكبريت، والنباتات من الشمس، ولكن معظم التفاعلات الأساسية أكثر هي تفاعلات كونية. كل خلية تستخدم فقط أربعة أنواع من النكليوتيدات، أي عشرين نوعاً من الأحماض الأمينية. وبشكل ثابت، تُسجَّل المعلومات الوراثية في الدنا والرنا. وبوجه عام، تُختزَن الطاقة في روابط الفسفات بوصفها جزءاً من تفاعل الكتاب المدرسي المألوف الذي يتحول فيه ثاني فسفات الأدينوزين إلى ثلاثي فسفات الأدينوزين، أي ADP إلى ATP. وهذا النسيج من التفاعلات مجتمعة يشكل البنية التحتية للحياة. وكما يقول موروڤيتس، "المخطط بالنسبة للعالم بالكيمياء الحيوية هو الجدول الدوري لدى العالم بالكيمياء." ولكن موروڤيتس يرى أكثر من رابط مجازي. ويعتقد بأن المخطط الاستقلابي الكوني نشأ بصورة طبيعية من الجدول الدوري، أي أن هذه المجموعة الكونية من السبل الكيميائية الحيوية لم تجمع نفسها بالصدفة ولكن بالضرورة.

إن اكتشاف التفاعلات الكيميائية نفسها في الجراثيم، والأشجار، والنمال، والشَّرِهات[١٣٢] يشبه قليلاً اكتشاف القبائل المبعثرة من الأمريكيين المحليين الذين يتشاطرون المنظومة الأساسية نفسها من المعتقدات. وفيما يتصل بديانة البويبلو، من المغري أن نعزو بعض التشابهات إلى بعض الافتراضات الحديثة أكثر منها إلى أصل سلفي

[132] -ج. شَرِه: حيوان ثديي لاحم يعيش في أمريكا الشمالية-المترجم.

مشترك. ولكن من الصعب أن نتخيل كيف يمكن لمخلوق ما أن يقتبس سن عجلة أو بكرة استقلابية ابتكرها مخلوق آخر. ويجد موروفيتس أنه من المقنع أكثر الافتراض بأن التفاعلات الأساسية أكثر –التنفس، تركيب البروتين، التكرار الوراثي وهلمجرا–تبقى، إلى حد بعيد، ثابتة على مدى دهور. وربما تسبب طفرة في هذا المستوى الأعمق انهيار بيت البطاقات الكيميائي بالكامل. ومن الطبيعي أن تكون حدثت تبدلات مع تغير البيئات وتكيف المتعضيات. ولكن يبدو معقولاً الافتراض بأن هذه التغيرات كانت زخرفات أضيفت إلى البنية التحتية الأساسية للحياة، أي تبدلات على المواضيع الثابتة. وعندما يحدق موروفيتس في قلب الخريطة الاستقلابية، يظن أنه يلمح الجد الأعلى الكوني.

إن شكل هذه الشبكة الأولية يمكن أيضاً أن يكون تراكماً لحوادث عرضية. ومن كل الاستقلابات الممكنة التي صدف أن نشأت في البحر البدائي، ربما كانت شبكتنا ببساطة هي الوحيدة التي احتُجزَت، لمجرد أنها كانت محظوظة بما يكفي للبقاء. فإذا كنا قد استطعنا أن ننطلق من لا شيء، وأعدنا خلق بدايات الحياة في جهاز ميلر–أوري الكبير، فإن التموجات العرضية يمكن أن تكون أدت إلى شبكة مختلفة تماماً من التفاعلات. في هذه الرؤية، يكون قلب المخطط الاستقلابي حادثاً متجمداً، كحقيقة أن الاقتراب المُتَحَكَّم فيه من الأرض (GCA) يعني الألانين وليس الهِستيدين. أو يمكن أن نقترح، كما يفعل موروفيتس، بأن هذه التفاعلات الأولية أساسية جداً إلى حد أنها كانت كلها فقط محددة بقواعد الذرات والجزيئات. فإذا صح ذلك، عندئذٍ يكون هناك أمل بما يسميه موروفيتس نظرية موحدة شاملة للكيمياء الحيوية، التي تستمد قلب الخريطة الاستقلابية من الجدول الدوري، الذي يُظهِر أن الحياة، كالتبلور، هي امتداد طبيعي للكيمياء.

وقصة الخلق عند موروفيتس تقلب القصص التي سردها زملاؤه باطناً لظاهر. فعلى الرغم من كل الصعوبات الاستراتيجية في جمع الأحماض النووية في أنبوبة اختبار، فإن معظم الباحثين في منشأ الحياة يعتقدون أن الرنا، في الواقع، جاءت أولاً، وبعدها البروتينات، وأخيراً تعليب الاستقلاب في خلية. وتعتقد أقلية مؤثِّرة بأن البروتينات سبقت الأحماض النووية. فعندما سئل موروفيتس أيهما جاء أولاً: الدجاجة الجزيئية أم البيضة الجزيئية، أجاب لا هذه ولا تلك. فقد كان يعتقد بأنه، في البداية وقبل ظهور الأنزيمات أو الأحماض النووية بزمن طويل، كانت هناك أغلفة، حويصلات ميتة، تكونت من جزيئات دهنية تسمى الشحميات، هي التي وفرت الملاذ الذي تطورت فيه الاستقلابات فيما بعد. ومن أين جاءت الحويصلات؟ لقد ضمن وجودها، عملياً، واحد من قوانين الكيمياء الأساسية أكثر: حقيقة أن الزيت والماء لايمتزجان.

إن H_2O هو ما يسميه الكيميائيون بالجزيء القطبي؛ وبالطريقة التي تنتظم فيها ذراته، فإنه يُشحَن إيجابياً من طرف وسلبياً من الطرف الآخر. فإذا أضيفت جزيئات أخرى قطبية إلى الماء، فإنها تنحل: أطرافها السلبية تنجذب إلى الأطراف الإيجابية لجزيئات H_2O، والعكس بالعكس. والجزيئات، كجزيئات الملح والسكر، التي تتراصف بسهولة كبيرة مع جزيئات الماء تسمى الجسيمات أليفة الماء–مُحِبَّة الماء. أما الجزيئات اللاقطبية التي لا تحمل شحنة تجبرها على الالتصاق بجزيئات الماء، كسلاسل البترول الهدروكربونية، فهي لا ذؤوبة، ولا تألف الماء. ونشهد نتائج هذا الكره في برك الماء في الشوارع، حيث تطفو طبقة رقيقة من الجازولين أو زيت المحركات على سطح الماء، لتكسر أشعة الشمس إلى أقواس قزح منكسرة.

والنوع الثالث من الجزيء هو الجزيء المزدوج الألفة–طرف قطبي، والطرف الآخر لا قطبي. إنه يتأرجح بكلتا الطريقتين. هذه الجزيئات الممتزجة بالماء، وهي نوع من الشحم، تتحد بصورة طبيعية، طرفاً لطرف، لتشكل أزواجاً. فيلتصق الطرفان الكارهان للماء من جزيئين مع بعضهما بعضاً، تاركين طرفيهما الأليفين للماء متدليين في الماء. وعندئذٍ تترابط هذه الأزواج جنباً لجنب إلى صفائح. والصفائح، التي تبحث عن الشكل الذي يتطلب قدراً ضئيلاً من الطاقة للبقاء، تنطوي تلقائياً إلى حويصلات، تحتبل داخلها مقادير قليلة من الماء. وينتج عن ذلك أجربة محمية محجوبة عن العشوائية المحيطية، الوعاء الذي يمكن أن ينشأ فيه نظام.

إن تصنيع البروتينات والأحماض النووية، كما اكتشف الكيميائيون في مختبراتهم، يتطلب دقة كبيرة. وتصنيع هذه الأغشية البدائية هي لهو أطفال. يقول موروڤيتس، إنها "تأتي مجاناً، هدية من الطبيعة،" وربما كان عملياً هذا السبب في أن كل خلية على الأرض محتواة داخل غلاف من الشحميات والبروتينات الأليفة للماء. ويتخذ هذه الشمولية كمبرر للاعتقاد بأن الحويصلات هي التي جاءت أولاً. فكانت النتيجة نوعاً من غشاء، وكما نعرف من دراستنا للأغشية التي تحيط بخلايانا، فإن هذه الحواجز نصف المنفذة تشكل شياطين جيدة جداً. وعن طريق السماح فقط لبعض المركبات بالدخول والخروج، تختار الأغشية مجموعة دنيا من كل الجزيئات الممكنة، لتحتجزها داخلها. وعندما تصبح جزيئات البروتين البسيط منحلة في غشاء، تصبح الانتقائية أكثر دقة: البروتينات لا تعمل فقط كبوابات لبعض الأيونات والجزيئات، ولكن أيضاً كمضخات، تحرق الطاقة لكي تنقل الجزيئات المتمردة عبر الفاصل. ومن أين تأتي الطاقة؟ ويقترح موروڤيتس أن حاملات صبغ كانت تعوم في بحر محيط، وهي جزيئات بسيطة قادرة من نوع بدائي للتمثيل الضوئي، تمتص مباشرة الفوتونات الشمسية، وتختزن طاقتها بواسطة أربطة تشكيل جزيئية. فإذا امتُصَّت حاملات الصبغ من قبل واحد من هذه الأغشية البدائية، فإن الحويصل سيمتلك مصدراً للطاقة.

إن كل حويصلة بأشكالها المختلفة من بوابات ومضخات، سوف توجِد، بالتفريغ إلى طاقة الشمس وجزيئات التصنيف، تراكيب كيميائية داخلية مختلفة. وبعض هذه الخلايا البدائية، التي تضخ إلى بعضها بعضاً، سوف تندمج كقطرات الزيت، التي توحد محتوياتها، مما يجعل أجزاءها الداخلية أكثر وأكثر تعقيداً. وقبل ابتكار الأنزيمات والأحماض النووية بوقت طويل، يجب أن تكون تمتعت بالقدرة على التكرر. وتتمدد الأغشية، عن طريق امتصاصها للجزيئات المحبة لكلا النوعين من المياه المحيطة، حتى تصبح غير مستقرة من الناحية الدينامية الحرارية. ونظراً لحاجتها إلى الكثير من الطاقة للمحافظة على حجمها غير العملي، فإنها ستنقسم إلى اثنين، مدفوعة بفيزياء بسيطة. وبعدئذٍ، سينقسم هذا النتاج. وفي الوقت المناسب، سيكون هناك سكان من أنواع ذات تراكيب كيميائية مختلفة. وستكون معظم هذه الحويصلات أكياساً من مواد كيميائية ميتة، ولا شيء يمكن احترامه كاستقلاب. ولكن بين السكان ستكون حويصلات قد عثرت على الكيمياء البسيطة لتصنيع جزيئاتها الخاصة المحبة لكلا النوعين، وناقلات صبغها، والقنوات الأخرى الغشائية؛ وستكون هذه، بوجه خاص، مثمرة، تتكاثر في كل مكان من الوسط.

إن أقدم هذه الاستقلابات كان يجب أن تعمل دون تعقيدات محفزات الأحماض الأمينية. والمكونات الوحيدة كان يجب أن تكون جزيئات بسيطة مكونة من الكربون، والهيدروجين، والأكسجين مع إضافة قدر ضئيل من

الفسفور والكبريت. والتفاعلات الوحيدة التي أمكن أن تحدث كان يجب أن تكون مدعومة من قبل الجدول الدوري للعناصر–تلك التي تكون ملائمة من الناحية الديناميكية الحرارية. فقط فيما بعد، عندما وجدت حويصلة وصفة لاستخدام النتروجين، ستكون قادرة على زيادة قابلية بقائها عن طريق تصنيع أحماض أمينية وبعدئذٍ أنزيمات بدائية. وإضافة إلى المدى الضيق للتفاعلات الطبيعية، المقيدة بالجدول الدوري، فإنه سيكون تحت تصرف الطبيعة ابتكاراً لا حد له تجيزه اعتباطية الأنزيمات. وستكون التراكيب الكيميائية الأكثر تعقيداً ممكنة. وتلك التفاعلات التي تتم أصلاً دون أنزيمات ستكون منتظمة، وتصبح أكثر فعالية بقوة الحفز.

وفي الفصل النهائي، تستخدم الحويصلات الأنزيمات لتصنيع الجزيئات العضوية الأكثر دقة، أي الأحماض النووية، التي تفتح الطريق لإنتاج المزيد من أنزيمات أطول سلسلة وأكثر تعقيداً–ولذاكرة وراثية. والآن، تحمل كل خلية كتاب تعليماتها الخاص. وبترميز الوصفة الاستقلابية داخل الحلازين المتكررة للدنا، تمتلك الخلية وسيلة أكثر فعالية للتكاثر. وسيكون كل شيء في الموضع الملائم من أجل التناغم الرائع مع التطور الداروينى. وكما يقول موروفيتس: هنا تنتهي الفيزياء ويبدأ التاريخ. والمنتصر في هذا الكفاح المبكر ليس سوى الجد الأعلى الكوني بشبكته الكيميائية المحفوظة (كنملة في كهرمان) في الخريطة الاستقلابية الكونية.

إن اختبار نظرية موروفيتس الخلافية هو للإثبات بالتجربة أن التفاعلات الأساسية التي تزود خلايانا بالطاقة، أي قلب الخريطة، هي طبيعية جداً إلى حد أنها ربما كانت يوماً تجري دون أنزيمات. وقد أظهر حتى الآن أن الطريق التي بها تستوعب كل الخلايا النتروجين، لاستخدامه في تصنيع الأحماض الأمينية، يمكن أن يستمر دون مساعدة المحفزات البروتينية. فإذا أمكن إثبات هذا بالنسبة للتفاعلات الأخرى، فإنه سيكون هناك مبرر للاعتقاد بأن الانفجار التلقائي للحياة ليس ملغزاً جداً، أي أنه أقل من معجزة–إلى حد تكون معه هناك مبررات أساسية لوجودنا هنا، نحن، أو على الأقل، لوجود أجدادنا القدامى الأحاديي الخلايا.

وبرؤية شمولية، فإن لأسطورة النشوء عند موروفيتس منطقاً ملزماً. فالحياة، بموجب هذه الرؤية، نشأت من خلال سلسلة من المستويات، كل منها أكثر تعقيداً من سابقه. في البداية، كانت حويصلات فارغة تنقسم وتندمج كقطرات الزيت؛ وبعدئذٍ حويصلات تحتوي بداخلها تراكيب كيميائية بسيطة. ومن بينها حويصلات توفرت لها وسيلة تصنيع مكوناتها الخاصة. وعندما "اكتشفت" إحدى هذه الخلايا النتروجين، كانت المرحلة التالية الأنزيمات والتراكيب الكيميائية الأغنى التي تتطلبها. وأخيراً جاء الإنتاج الأنزيمي للأحماض النووية. وبهذا الارتقاء، الذي تمتعت به الخلايا بالقدرة على الاحتفاظ بسجل مستقل لمعلوماتها الوراثية؛ استطاعت أن تطفر وتتطور.

إذا كان موروفيتس على صواب، فإن احتمال التراجع اللانهائي للشياطين التي تخلق شياطيناً التي تخلق شياطيناً تتوقف، في الواقع، في قوانين الكيمياء، التي تنشأ، بدورها، من ميكانيكا الكم. وفي النهاية، الفيزياء البسيطة هي التي توجِد هذه الإچيوزات، أي الحويصلات. وبتوفيرها دارئاً ضد عشوائية البيئة، فإنها تسمح بتشكل الترتيبات الكيميائية الدقيقة التي، بخلاف ذلك، كان ظهورها غير محتمل أبداً.

موروفيتس "كربوني" لا يخجل، عبارة صاغها البيولوجي روبرت شابيرو والفزيائي جيرالد فاينبرچ ليصفا الشخص الذي يعتقد أن الحياة تُبنى بالضرورة من ذرات الكربون. يبدو هذا الافتراض، بالنسبة لبعض زملاء

موروقيتس في سنتافي، استنتاجياً أكثر مما ينبغي. ويبحثون عن مصدر النظام البيولوجي في مكان آخر، في "قوانين التعقيد" المجردة التي تدفع المكونات البسيطة لأنواع كثيرة مختلفة إلى تشكيل وحدات كاملة معقدة، نوع من عكس القانون الثاني للديناميةَ الحرارية التي تجعل، بطريقة ما، نشوء النظام طبيعياً. ويعتقد بعضهم أن هذه القوانين ملزمة جداً إلى حد أن البُنى المعيلة لنفسها يمكن أن تنشأ داخل الحاسوب، وهو ما يسمونه، على سبيل المناكدة، بالحياة الاصطناعية.

صرح فْرِدّ هويل أن احتمال اجتماع الجزيئات إلى خلية كان يشبه احتمال أن يعمل إعصار في حوش خردة على تركيب طائرة ٧٤٧. ولنتصور المبدع أساساً إعصاراً ذكياً، كلي القدرة، يتمتع بالتصميم والموارد لتجميع طائرة نفاثة. ولكن ماذا لو كان "الذكاء" داخل قوانين التعقيد هذه؟ عندئذٍ لن تكون هناك حاجة إلى غشاء شيطاني لتنسيق الجزيئات إلى حياة؛ لأن الاستقلابات في هذه الرؤية لا تكون دقيقة جداً في نهاية الأمر. وبافتراض أي مزيج من الجزيئات غني بما يكفي، فإن قوانين التعقيد ستضمن تقريباً أن الاستقلاب سيتبلر من حساء. إلا أن هذا قد لا يكون شيئاً يشبه الاستقلاب في خلايانا، ولكنه، مع ذلك، استقلاب–نسيج كيميائي معيل لذاته يمكن أن يولِّد كل المحفزات اللازمة لإدامة تفاعلاته، لكي يحافظ على نفسه ضد قسوة البيئة.

إن فكرة "المجموعات الذاتية الحفز"[١٣٣] من الجسيمات التي تتبثق من النز العشوائي، كانت، على مدى سنوات، مقبولة من قبل حفنة من العلماء الذين يحاولون اكتشاف مصدر نظام للحياة. وفي وقت مبكر، يعود إلى عام ١٩٦٩، اقترح مِلْفِن كالفِن الاحتمال في كتابه *التطور الكيميائي*. وبعد سنتين، تم تطوير الفكرة إلى حد أبعد في بحوث مستقلة من قبل البيولوجيين النظريين أوتو روسلر، ومانفرِد آيجن، وستيورات كوفمان، الذي هو اليوم عضو في معهد سنتافي. صاغ آيجن عبارة "الحلقة الفوقية" لوصف ترجمته للظاهرة. لنفترض أن جزيء رنا، يعتمد على أنزيم متوفر في البيئة، تصرف كنموذج معايرة لتكوين جزيء رنا ثانٍ، وهذا بدوره تصرف كنموذج معايرة لتكوين الأول؛ سمى آيجن ذلك حلقة حفازة بسيطة. وإضافة إلى ذلك، إذا صدف وقام أحد جزيئات الرنا بالترميز للأنزيم نفسه اللازم لإكمال الأنشوطة، فإنه سيكون حلقة فوقية، أي دائرة كيميائية معيلة لنفسها.

وفي حين ركز آيجن وزميله بيتر شوستر، وهو زائر مألوف إلى معهد سنتافي، على كيف أمكن للحلقات الفوقية للأحماض الأمينية أن توجِد الحياة، نظر كوفمان وآخرون إلى الكيمياء على نحو أكثر تجريداً، متجاهلين التفاصيل حول عدد أربطة التكافؤ التي يمتلكها الكربون أو الأكسجين. ونظروا إلى الجزيئات بوصفها رموزاً وإلى التفاعل بوصفه نوعاً من علاقة جبرية. وفي هذه المَثْلَنَة للكيمياء، يمكن أن يبدو تفاعل ما كما يلي: $A+B\overset{D}{=}C$. يتحد الجزيء A مع الجزيء B بوجود المحفز D لإعطاء الجزيء C.

ولمعرفة كيف يمكن للشبكة أن تتشكل بصورة طبيعية، نبدأ بجزيئين بسيطين، A و B–مونوميريْن monomers، كما يسمونهما في التجارة. في هذه المرحلة، لا توجد محفزات لتسهيل تفاعلات معينة، فقط أزيز ضعيف للجزيئات التي تصطدم عشوائياً ببعضها بعضاً. أحياناً تتلاصق المونوميرات، المونوميرات A

[133] هناك بحوث ثلاثة رشيمية حول المجموعات الذاتيةالحفز: - Nature wissenchaften لـ Manfred Eigen و، J. Cybernetics لـ stuart Kauffman و، z. Nturforsch لـ Otto RÖssler انظر، ومن أجل معالجات شائعة للموضوع. Artificial Life and the Complexity لـ Steven Levy.

والمونوميرات B، لتشكيل الديميرات dimers البسيطة: AA، وBB، وBA، وAB. والآن يكون في الحساء ستة أنواع من الجزيئات. ونستطيع أن نوحد هذه المقومات، المونوميرات والديميرات، لإنتاج سلاسل أطول: AAA، وAAB، وABB، وAABB، وBAAB، وهلم جرا.

عندما نحصل على مزيج غني لأنواع مختلفة من الجسيمات، فإننا لن نبذل جهداً كبيراً للافتراض بأن بعضها سيتشكل بطريقة يعمل فيها كمحفزات، تشجع بعض التفاعلات. ولنفترض أن BAAB تحفز الطريقة التي يشكل AA وB فيها AAB. هنا سوف يسبق إنتاج AAB إنتاج التفاعلات الأضعف غير المحفَّزة. والآن لنفترض أيضاً أن AAB تحفز تشكل شيء ما يسمى ABA، وأن ABA تحفز تشكل BABA، التي تحفز تشكل AAAAA. هنا يكون قد اشتعل تفاعل كيميائي متسلسل. ولنفترض الآن أنه عند نقطة ما في هذه المتوالية، تم إنتاج جزيء يحفز تشكل الحلقة الأولى في السلسلة، إلى حد أن AAAAA تحفز BAAB. هنا ستطبِق السلسلة على نفسها لتشكل أنشوطة: $BAAB \Rightarrow AAB \Rightarrow ABA \Rightarrow BABA \Rightarrow AAAAA \Rightarrow BAAB$. ومقابل الضوضاء الخلفية للتفاعلات العشوائية الضعيفة، فإن هذه الأنشوطة ستزداد وتزداد قوة.

في حين تعمل بعض الطرق على تنمية الجزيئات، تعمل طرق أخرى على تفتيتها إلى قطع أصغر، معيدة تدوير المونوميرات A والمونوميرات B. وقد أمكن شق AAAAA بواسطة أنزيم آخر إلى AA وAAA، وبعدئذٍ ارتبطت AA بـ B لصنع AAB. وأنشوطة أنشوطة، بدأت تتشكل شبكة من التفاعلات المعيلة لذاتها التي بدت كزاوية الخريطة الاستقلابية الشاملة لهارولد موروفيتس. تبدأ الآلية بمخزون من جزيئات غذائية بسيطة، مونوميرات A ومونوميرات B، وستقوم بإعالة نفسها بنفسها.

إذا كان جمع شبكة كهذه عملاً دقيقاً، يتطلب اتقاناً كبيراً، عندئذٍ ستكون المجموعات الذاتية الحفز موضوعاً لكل تحفظات هويْل حول طائرات ٧٤٧ وأحواش الخردة. ودون مصمم، سيكون مستحيلاً تقريباً تصورها تنشأ صدفة. ولكن إذا كان هناك الكثير الكثير من الطرق التي يمكن فيها للمجموعات الذاتية الحفز أن تنبثق معاً، عندئذٍ لن نحتاج لا إلى مصمم ولا إلى حظ لا يمكن تصديقه. وكلما كان مزيج غني بما يكفي، فإن هذه الشبكات ستنشأ تلقائياً. وكما يرى كوفمان،[١٣٤] هناك شيء ما صالح قليلاً أكثر مما ينبغي لكي يكون صحيحاً حول التوافق الأنيق بين G وC وA وT في ازدواج واطسون–كريك. ويسأل ماذا لو كانت الكيمياء مختلفة قليلاً؟ وماذا لو كان للنتروجين، على سبيل المثال، رابط تكافؤ إضافي؟ أما كانت الحياة لتنشأ أبداً؟ ويميل إلى الاعتقاد بأن وجودنا لا يعتمد كثيراً على مثل هذه التفاصيل التافهة كما يبدو.

في الأنظمة الذاتية الحفز، لا توضع افتراضات حول أي الذرات أو الجزيئات تجتمع لتشكيل الشبكات. وسؤال ما إذا كانت الاستقلابات المعيلة لنفسها في شكلها الأكثر بساطة هي نوادر أو أرجحيات، كما شرح كوفمان، يمكن مقاربته بوصفه مشكلة فيما يسميه علماء الرياضيات توافقيات. فعندما يزداد طول الأشياء في المزيج، فإن عدد الجزيئات الممكن يرتفع أُسِّياً. ويمكن أن تنشأ ستة أنواع من الجزيئات من وحدتين أو أقل: A، وB، وAA، وBB، وAB، وBA. وإذا أخذنا في اعتبارنا طول ثلاث وحدات، فإن العدد يزداد إلى أربعة عشر: A، B، AA، BB، AB، BA، AAA، ABB، AAB، ABA، BAA، BBB، BAB، BBA. وإذا رفعنـــا

---

[134] وردت نظريات كوفمان حول الحفز الذاتي في كتابه The Origin of Order.

الطول إلى أربع، فإنه يمكن أن نفسح مجالاً لستة عشر عضواً–AAAA، AABB، AAAB، AABA، ABAA، ABBB، ABAB، ABBA، BAAA، BABB، BAAB، BABA، BBAA، BBBB، BBAB، BBBA، BBBA–والمجموع ثلاثون. وعندما يرتفع عدد أنواع الجزيئات، فإن عدد التفاعلات الممكنة بينها يرتفع أيضاً بسرعة أكبر، مما يزيد إمكانية تشكل الأنشوطات والشبكات.

إن مجموعة الخطوط التي تربط الأشياء كتلك التي في مجموعة حقَّازة تسمى رسماً بيانياً. وبالاعتماد على نظرية الرسم البياني ورياضيات التوافقيات، اكتشف كوفمان أنه عندما يزداد تعقيد المزيج، فإن مجموعة من الجزيئات ستخضع، بشكل حتمي تقريباً، إلى نوع من "تحول الطور": ستنشأ تلقائياً شبكة معيلة لنفسها، كالجليد الذي يتبلر من الماء. ولننس للحظة تفاصيل الكيمياء الحيوية. في أي نظام تتحد في الأشياء لتكوين أشياء أخرى، ستنشأ مجموعات مترابطة مدفوعة بلا شيء أكثر من الرياضيات البسيطة. "نظام مجاني،" يسميه كوفمان. ومن عشوائية على سلَّم واحد، يبدو أن النظام ينشأ من مستوى أعلى في الهرمية المفاهيمية.

ما يصح بالنسبة لهذه الاستقلابات الأبجدية، هل يصح بالنسبة لجزيئات الحياة؟ إن الرسوم البيانية التي كان كوفمان يلهو بها عندما توصل إلى اكتشافه، كانت ترتيبات إستاتية لخطوط تربط نقاطاً. ولكن الاستقلاب هو أي شيء باستثناء كونه إستاتياً. فالتفاعلات تتواصل بسرعات مختلفة، اعتماداً على تركيز المواد الكيميائية في المزيج. وقوانين الديناميكا الحرارية تسهل بعض التفاعلات وتثبط أخرى. ومع أنه يمكن أن تنشأ مجموعة ذاتية الحفز داخل مجموعة عشوائية من الأشياء، فإنها يجب أن تحسِّن نفسها بسرعة إلى تركيز عالٍ جداً لكي تصمد.

في منتصف ثمانينيات القرن الماضي، التقى دويْن فارمر بكوفمان في مؤتمر في بوسطن، ودعاه إلى لوس ألاموس للعمل مع مجموعته للأنظمة المعقدة.[١٣٥] وكانت الشبكات الذاتية الحفز امتداداً طبيعياً لاهتمام فارمر بالشواش. تسبب الأنشوطات في استقلاب تغذيةً مرتدة لا خطية: تغيرات طفيفة جداً في تركيز مادة كيميائية واحدة يمكن أن تتضخم، وينتشر تأثيرها في كل أنحاء الشبكة. ومع أن نتيجة فرط الحساسية هذا يمكن بسهولة أن يكون شواشاً كيميائياً، أي شبكة لن تستقر أبداً، فإن الأنشوطات المعيلة لذاتها، في ظل الظروف المناسبة، ربما تولِّد بُنىً مستقرة. واعتماداً على هذه الأفكار، أنشأ فارمر، وكوفمان، ونورمان بيكارد (الذي جاء زائراً من معهد الدراسة المتقدمة في برِنستون) محاكاة حاسوبية معزَّاة (منحولة) سموها كيمياء اصطناعية. في النموذج، اختيرت بعض الجزيئات اعتباطياً بوصفها محفزات لبعض التفاعلات والقوى النوعية المحددة. ويمكنها إما أن تشجع التكثيف، الذي يوحِّد جزيئين لتشكيل جزيء أكبر، أو الانقسام، الذي يحل الجزيء. ومع أن النموذج الأصلي لكوفمان كان مسألة كل شيء أو لا شيء (تفاعل إما يحدث أو لا يحدث)، فإن الجزيء، في الكيمياء العشوائية، يمكن أن يوجد بتراكيز مختلفة، وكلما كان عدده أكبر، كان تأثيره أقوى.

عند التوازن، لا شيء مهم يحدث في دورق المواد الكيميائية: جزيئات تجتمع مع بعضها بعضاً بالسرعة نفسها التي تنحل بها، مما يؤدي إلى ضوضاء عشوائية متجانسة. فقط عندما يُبعَد نظام من التوازن، تكون هناك إمكانية لتشكل تراكيب. وفي نموذج فارمر، وكوفمان، وبيكارد، أُبعِد الدورق الكيميائي من التوازن إما بإمداده

---

[135] نجد البحث حول الحفز الذاتي عند مجموعة الأجهزة المعقدة في لوس ألاموس في عدة بحوث، بما فيها autocatalictic replication of Polymers لـ J. Doyne Famer و Stuart Kauffman، و Norman Packard؛ Spontaneous Emergence of a Metabolism لـ Walter Fontana، و Farmer، و Bagley؛ Evolution of Metabolism لـ Farmer، و Richard J. Bagley.

بدفق متواصل من الجزيئات الغذائية أو بتزويده بالطاقة. وكنوع من بديل لصواعق البرق عند ستانلي ميلر، تم تعديل معادلات التكثيف والرباط لكي تتصرف وكأن النظام مزود بالطاقة بواسطة نسخة بدائية للتركيب الضوئي.

بهذه الكيمياء الأكثر ديناميـة، اكتشـف فارمر، وكوفمان، وبيكارد نوعاً من ظـاهرة كـان كوفمـان قد تنبأ بها بمجموعاته الإستاتية: في ظل مدى واسع من الشروط، تشكلت عمليات استقلاب مغلقة، فزادت تراكيزها عدة أضعاف على تراكيز الضوضاء الخلفية. وفيما بعد، قام بيولوجي اسمه ريتشارد بيچلي بتحسين النموذج بدرجة مهمة. فقد اكتشف، وهو يعمل مع فارمر، أن الشبكات التي انبثقت كانت قوية إلى حد مدهش. فكان إذا خرب أنشوطة، بمحو واحد من جزيئاتها، فإن الشبكة تعود بسرعة إلى توليد القطعة المفقودة. وعلى الرغم من أن بعض الشبكات كانت تعتمد على امتلاكها لنوع معين من جزيء غذائي (قارنها فارمر وبيچلي بحيوانات البندة، التي تأكل فقط الخيزران)، فإن شبكات أخرى كانت كالصراصير: يمكن أن تلتهم كل شيء.

ولكـي يصـدِّق المرء أن أبجدية الحياة تبدأ عندما ينضـم الكربون، والهيدروجين، والنتروجين، والأكسـجين، والفسفور والذرات الأخرى إلى هذه الاتحادات الكيميائية التكافلية، عليه أن يكتشف طريقة لاستقلابات بسيطة لكي تتطور وتصبح أكثر تعقيداً. وبصعوبة يمكن أن نتوقع أن ينشأ استقلاب بدائي من آلية وراثية تامة النضج. ولكن فارمر وبيچلي اكتشفا في النموذج ما يمكن اعتباره مجيناً غير ناضج. فقد احتوت الاستقلابات التي تبلَّرت من حسائها المُحاكَى على "مجموعات البَذْر": قطعة صغيرة من شبكة تمتعت بالقدرة على توليد الكل. فإذا وضعنا واحدة من هذه المجموعات الدنيا من الجزيئات في دورق تفاعل، فإنها ستتطور إلى شبكة كاملة ذاتية الحفز. وفي الواقع، كان الحفز الذاتي ظاهرة قوية إلى حد أن كل عملية استقلاب امتلكت عدداً من مجموعات البَذْر. وإذا اجتمعت معاً، فإنها يمكن أن تعتبر نوعاً من نمط وراثي، قائمة معلومات ضرورية لتوليد الـ "متعضي." إن التغيرات العشوائية في مجموعة البَذْر ستؤدي إلى شبكات طافرة. ويمكن لتفاعل عشوائي، غير محفَّز، أن يضيف أنشوطة استقلابية جديدة أو أنشوطة دائرية قصيرة كانت من قبل في ذلك المكان. ومع أن معظم هذه التغيرات ستكون محايدة أو مضرة–يمكن أن تسبب انهيار بيت البطاقات–فإن بعضها سيؤدي أحياناً إلى المزيد من استقلاب مرن. وهكذا ستنتشر التغيرات؛ وتتطور الشبكة.

هذا ليس تطوراً داروينياً: ليس هناك مخلوقات تنافس بعضها بعضاً على الموارد، ولكن مجرد تركيب وحيد يصبح أفضل وأفضل بسبب ما يفعله. فالتطور، بهذا المعنى، لا يمكن تمييزه عن النمو، الذي يتفتح فيه الجنين إلى راشد. في هذه المرحلة من الحياة البدئية، لن يكون هناك شيء من قبيل ما يسمى فرداً. ففي الكيمياء الاصطناعية، يزدهر استقلاب عن طريق تصنيع المزيد من نفسه، ولكن لا معنى لتوالده فيه، لتشكيل عمليتي استقلاب حيث كانت هناك عملية واحدة. فعلى سبيل المثال، إذا حركنا بعنف قطرة سائل من بركة مشغولة من قبل بواحد من هذه الاستقلابات في بركة أخرى، فإن الشبكة ستكرر نفسها بقدر ما تكون كل عناصر مجموعة البَذْر موجودة. عندئذٍ يمكن أن نتكلم بمعقولية عن فردين، ولكن سيكونان موجودين في عالمين مختلفين. وإذا أخذنا محتويات كل بركة، وأعدنا توحيدهما، فإن الفردين سيعودان إلى الاندماج في واحد. وفي بركة مشغولة بعدة استقلابات مختلفة، يمكن اعتبار كل عملية كفرد، ومع أنه من المحتمل أن يشتركوا في تفاعلات كيميائية كثيرة؛ فإن "أجسادهم" سوف تتداخل. وبالتالي، هل يمكن أن نعتبرهم كأفراد أو أجزاء من متعضٍّ منفرد؟

يبدو أن النتيجة تكون نسخة معقدة للهب: تفاعل يتغذى بالجزيئات في محيطه وينتشر. وهو، على خلاف النار، يمكن أن يحسِّن نفسه، مستخدماً أشكالاً عشوائية مختلفة لاستكشاف طرق جديدة لاحتراق أكثر سطوعاً. وتأتي الفردية عندما يجد الاستقلاب طريقة لإنتاج حظيرته الخاصة أو الإقامة في حظيرة موجودة من قبل–ربما حويصلات موروفيتس. الاختلاف هنا هو أن المرء لا يحتاج إلى افتراض كيمياء أساسها الكربون. إن هذه التراكيب المعيلة لذاتها–كيفما كان صنعها–سوف تتنافس على الموارد. وستتم الغَلَبَة للتطور الدارويني، الذي يميز بين الأشكال المختلفة، ويشحذها لكي تلائم بيئاتها. وهذه التراكيب، التي تنشأ من عشوائية، تحقق بقاءها عن طريق تعلمها البحث عن الانتظام في الفوضى من حولها، أي وضع خرائط للعالم، وراثية وفيما بعد عصبية. أو هكذا تمضي النسخة الذاتية الحفز لأسطورة النشوء.

إن الدافع للبحث عن نظام للكون وتحسين ذلك النظام أوجد علوم البيولوجيا، والجيولوجيا، وفيزياء الجسيمات، والفلك، والكوزمولوجيا؛ وخلق كاتدرائيات رائعة للتجريد كنظرية الكم وديانة التيوا. ودفعنا مقتنا للعشوائية إلى البحث، تحت السطح العاصف للكون، عن التناسقات الخفية والوصف بدقة كيف تحطمت. ومنذ اعترفنا لأول مرة بالإيجابي سلبياً، أو اعترفنا بالأكسجين هيدروجينين، كنا ملتهمي معلومات، بحَّاثة عن الأنماط. وهكذا أُجبرْنا على سرد هذه القصص حول كيف ولماذا خرجنا من مياه بدائية–وحول ما حدث بعد الخروج الكبير.

الفصل الثامن

مجيء الأصلح

قبل المرحلة التي نمت فيها مخلوقات بسيطة وحيدة الخلية في المياه، كانت فكرة المجموعات الذاتية الحفز التي تجد ملاذاً في أغلفة موروڤيتس المخلوقة تلقائياً توفر تعليلاً معقولاً حول كيف أمكن أن تتبعث الحياة في المادة على الأرض المبكرة. ويمكن أن يدرك المرء لماذا انتهت التراكيب الكيميائية المعيلة لذاتها المغلفة في أغشية إلى السيطرة على المياه.

ولكن السيناريو يتوقف مع نمو هذه المخلوقات البسيطة التي يسميها البيولوجيون بدائيات النوى. وبدائي النواة أساساً كيس من جزيئات يتمتع بالقدرة على إعالة نفسه والانقسام. والمرحلة التالية في التطور هي نمو سويّات النوى المعروفة. هذه الخلايا الأكبر والأكثر تعقيداً لها تركيب داخلي: المادة الوراثية لا تعوم ببساطة في البروتوپلازما بل هي معلبة في نواة؛ وآلية حرق السكريات لإنتاج الطاقة معلبة في عُضَيَّات تسمى المتقدرات؛ ونظام التمثيل الضوئي يكون في حبيبات اليخضور. وخلايا الطحالب هي سويات النوى، كما هي حال كل خلية وكل الخلايا التي تشكل جسم نباتات الأرض وحيواناتها.

عندما نمضي إلى ما بعد السؤال كيف انبثقت الخلية الأولى، جدُّنا العام، دفعة واحدة، ونبحث عن أساس علمي منطقي لنشوء الحياة ينشأ المزيد من الألغاز. كيف نمت خلايا بدائيات النوى البسيطة إلى سويات النوى، ثم كيف اجتمعت هذه الخلايا المعقدة لتشكيل متعضيات متعددة الخلايا، وهي أيضاً أكثر تعقيداً؟ ومن جديد تواجهنا مسألة ما إذا كان نشوء النمط، وأنماط الأنماط، عرضياً إلى حد بعيد أو مدفوعاً بنوع ما من قانون طبيعي.

اقترحت البيولوجية لين مارچِليس[١٣٦] من جامعة ماساشوستس أن المتقدرات والعضيات الأخرى داخل سويات النوى كانت يوماً مخلوقات حرة، أحادية الخلية–بدائيات النوى، تحت ضغوط تطورية شتى، شكلت مع بعضها بعضاً اتحادات تكافلية كانت تُنَظَّم كلما اندمجت بطريقة ما في خلايا منفردة سويات النوى. ويمكن أن نوسع هذه القصة ونفترض أن الاتحادات التكافلية لسويات النوى، في النهاية، انضمت إلى المتعضيات الأولى المتعددة الخلايا. أما لماذا حدث ذلك أيضاً فيبقى لغزاً. ولكن إذا نسينا للحظة كل التفاصيل الصعبة، فإنه يمكن أن نرى نموذجاً قسرياً لنمو الحياة: جماعات من الجزيئات تتحد لتشكيل خلية بدائية النواة، وجماعات من بدائيات النوى تتحد لتشكيل خلية سوية النواة، وجماعات من سويات النوى تتحد لتشكيل متعضٍّ.

ولكن ما الذي سبب حدوث هذه الوثبات الكبيرة؟ إذا استطعنا أن نصدق السجل الأحفوري، فإن بدائيات النوى البسيطة هيمنت على الحياة على الأرض على مدى أكثر من بليوني سنة. فلماذا لم تبق الحياة بعدئذٍ ماكثة عند هذا الحد؟ ولماذا استُحِثَّت بدائيات النوى على الاتحاد مع بعضها بعضاً في سويات نوى؟ وفيما يتعلق بهذه المسألة، لماذا اتحدت سويات النوى فيما بعد مع بعضها بعضاً لتشكيل المتعضيات المتعددة الخلايا الموجودة اليوم؟

---

[136] ورد وصف أفكار مارچِلِس حول التطور المبكر للحياة الخلوية في Microcosmos لـ Marguls و Dorion Sagan.

في محاولة لتوضيح هذا المسار، من السهل أن يُحتبَل المرء في دوامة من التفكير الغائي، مفترضاً أن للتطور هدفاً، أي أن الغاية بطريقة ما تبرر الوسيلة. فنقول إن المتعضيات المتعددة الخلايا نشأت لأنها توفر تقسيم العمل، وكأن فكرة تقسيم العمل كانت تحوِّم في مكان ما في كون أفلاطون، مُجبرَة بطريقة ما الخلايا إلى الاهتمام بها. وكما قال وولتر فونتانا، وهو كيميائي شاب إيطالي المولد في معهد سنتافي، "هذا معكوس. فالمرء لا يمكن أن يكون لديه تقسيم للعمل *قبل* أن يكون لديه تعددية خلوية." وغرضه هذا ماكر. فما أن نشأت تعددية الخلايا، حتى استحضرنا الاصطفاء الطبيعي لتعليل لماذا تنمو المتعضيات التي تقسِّم مهماتها بفعالية بين خلايا كثيرة. والأكثر صعوبة هو تعليل لماذا نشأت التعددية الخلوية أولاً. هل هو حظ أبكم–مصادفة مواتية بعد أخرى–أو شيء ما أُحدِث قسراً؟

منذ أيام داروين، كان هناك توتر بين مدرستين للتفكير حول تجزئة العالم البيولوجي. فالتكيفيون المدققون يعتقدون بأن الاصطفاء الطبيعي وحده قوي بما يكفي لتفسير معظم النظام، في حين تُصِرُّ مدرسة تدعى مدرسة التركيبيين على أننا نحتاج إلى شيء ما إضافي–قوانين التنظيم الذاتي. ويشيرون إلى أن الداروينية هي نظرية كيف اختيرت الصفات الميزة، لا كيف تولدت. ويسأل التركيبيون: من أين حصل التطور على الحنطة لمطحنته؟ وكما قال ستيوارت كوفمان يوماً، يقول لنا داروين كيف تغيرت الضفادع، لا كيف حصلنا عليها أولاً. وتنسحب الحجة نفسها على البُنى الأخرى، أي النماذج الأخرى–العيون، الأدمغة، الكِلى، الفقرات. ويقول لنا التركيبيون إن ما نحتاجه هو قوانين التعقيد التي تفسر كيف نشأت البُنى البيولوجية دون جهد، وعندئذٍ فقط تقدم نفسها إلى التطور من أجل موالفة دقيقة.

يسلِّم معظم البيولوجيين بأن نماذج الحياة نشأت بسبب مزيج من هاتين النزعتين، التكيفية والتنظيمية الذاتية. والسؤال هو أين يضع المرء حداً لا يتخطاه. فالتيار البيولوجي السائد مطمئن بوجه عام إلى فهم نشوء التعددية الخلوية على أنه، في المقام الأول، مثال إضافي واحد للتطور في حالة عمل–ينخل البنى الطافرة عشوائياً من خلال منخل الاصطفاء الطبيعي. ولكن فونتانا وبعض زملائه انتهوا إلى الاعتقاد بأن أرجحيات نشوء التعدد الخلوي بهذه الطريقة ضئيلة جداً. ويعتقدون بأن ظهور الهرمية البيولوجية الكاملة–بدائيات النوى، سويات النوى، متعضيات متعددة الخلايا، البناء الشاهق للحياة–هو كظهور الهرمية البيولوجية الكاملة، يعتمد على الأرجحيات الصالحة جداً لكي تكون حقيقية. ويظنون أنه يتطلب قانوناً ما أكثر عمقاً.

كثيراً ما يُتَّهَم أولئك الذين يعتقدون أن هناك اتجاهاً للتطور بالانشغال في تفكير غائي. وقد رفض أرسطو مفهوم الأفكار المحضة التي توجد مستقلة في عالم آخر، ومع ذلك كتب عن ظواهر ملغزة بالتساوي تسمى العلل الغائية: ثمرة البلوط تنمو بتلك الطريقة لأنها تحتوي في داخلها على إمكانية أن تصبح شجرة. وفي بناء التعليل الداروينى، يبدأ المرء بحكاية تبدو لأول وهلة غائية جداً–التطور يُدفَع بظهور تقسيم العمل. ولكن تِلْس طرد بعدئذٍ لإعلانه أن الغاية "بررت" الوسيلة لا بقوى تفوق الوصف ولكن لمجرد أنها تقدم أفضلية البقاء.

يمكن أن تبدو تعليلات التكيفيين أكثر إقناعاً. فبسبب شيء من التموج العشوائي في البيئة، أُجبرَ بدائي نواة صغير جداً كان أحرق جزيئات غذائية مختلفة لإطلاق الطاقة على إيجاد ملاذ داخل خلية أكبر، تعيش على فضلاتها الداخلية. في البداية، يمكن أن يكون هذا الغازي الضئيل قد أمرض مضيفه، ولكن التطور يعاقب

الطفيليات التي تكون مميتة جداً–تموت مع ضحاياها. والناجي هو ذاك الذي يستطيع استثمار الموارد الكيميائية لمضيفه دون أن يعرضه للخطر، ذاك الذي أصبح مدجناً. وعاجلاً أو آجلاً، ربما يستفيد المضيف أيضاً من النظام. فالطاقة الإضافية التي ينتجها الغازي ستعطي الخلية الأكبر أفضلية البقاء. وما بدأ كتلوث سيصبح تكافلاً. وربما كان هذا هو السبب الذي يدفع سويات النوى التي تكوِّن أجسادنا إلى إيواء عضيات تسمى المتقدرات التي تتخصص بالتنفس. ويمكن أن نأتي بحكاية مماثلة حول كيف تحصل خلايا النبات على حبيبات يخضورها، وهي العضيات التي تحوِّل أشعة الشمس إلى طاقة صالحة للأكل. ففي *ميكروكوزموس*، وهي الأنشودة الجميلة التي كتبتها دوريون ساچان مع ابنها حول الحياة الجرثومية، تمضي مارچِلِس بعيداً جداً لتقترح أن الزوائد السوطية أو شرابة الأهداب التي تستخدمها سويات نوى بسيطة لدفع نفسها عبر الماء كانت يوماً جراثيم سابحة بسرعة تسمى الملتويات. وهي أيضاً شكلت علاقة تكافلية مع بدائيات النوى الأخرى، التي تقدم تحركاً مقابل السلع والخدمات الأخرى.

في الفصل التالي من قصة التكيفيين، تتعدد ثمرة هذه الاتحادات العرضية، أي الخلايا السوية النوى المعقدة داخلياً، من خلال التغير العشوائي والاصطفاء، لتطوير اختصاصيين متنوعين. كان بعضها خبيراً بَاستخدام أهدابه في التحرك، وأخرى في استشعار وجود المواد الكيميائية الضارة، وغيرها في الاستجابة للضوء. وبعدئذٍ شكلت سويات النوى هذه اتحادات خاصة بها. إن سوي النواة الساعي إلى الضوء الذي يصدف ويلتصق بسوي نواة ذي ذيل سريع السوط سيهزم منافسيه في السباق لاكتشاف ضياء الشمس الأكثر سطوعاً، وهو الرحيق لحبيبات يخضوره. وهكذا يولد متعضٍّ بدائي. ومع المزيد من مآثر التخيل، يستطيع المرء أن يبتكر قصة حول كيف وُجِد المزيد من الحيوانات المعقدة التي تحمل خلايا كلوية، وخلايا كبدية، وخلايا دماغية. والقصص يستحثها منطق مُلزِم. ولكن كل مرحلة من العملية تتطلب قدراً كبيراً من الحظ.

تبدو هذه التفسيرات الخاصة إلى حد ما، بالنسبة للمؤمنين بقوانين التعقيد، ككتاب جَسْت سو ستوريز Just So Stories لروديارد كيلنچ. كيف حصل الكركدن على جلده، والنمر على تقليماته. وكيف حصلت الطحالب على حبيبات يخضورها، والخلية المنوية على ذيلها. وعندما يسمع بعض البيولوجيين زملاءهم يجهدون أنفسهم بقوة كبيرة قليلاً لإقحام كل شيء في إطار دارويني، فإنهم يسمُّون النتيجة قصة **جَسْتْ سو** التطورية: قصة ملزمة تعتمد على دليل واهن، يمتلك أحياناً الحلقة السهلة للتفكير بالحقيقة. فهل يمكن للتعقيد الذي نراه حولنا أن يأتي من لا شيء أكثر من كونه حادثاً عرضياً واحداً بعد آخر، تصطفيه مرشِّحة التطور؟ هذا يلفت نظر بعض الشكوكيين باعتباره سلسلة طويلة إلى حد مخيف من "صالح جداً لكي يكون سلسلة الحقيقة." فالحياة، كما نعرفها ضربة حظ، تبدو من جديد مسألة تاريخ أكثر منها مسألة علم.

هناك شيء ما بخصوص التنظيم الهرمي الذي يبدو تقريباً حتمياً بالنسبة لنا، أي جزءاً طبيعياً من الكون. فخطتنا الكاملة لتجزئة العالم تتجذر في هذه الصورة البسيطة التي تتحد لتشكيل وحدات معقدة تتحد أيضاً لتشكيل وحدات أكثر تعقيداً. فنحن نُصنَع من أعضاء، والأعضاء من خلايا سوية النوى، والخلايا السوية النوى من بدائيات النوى، وبدائيات النوى من جزيئات، والجزيئات من ذرات، والذرات من لبتونات وكوراكات. والهرميات أيضاً تمتد في اتجاه آخر: الحيوانات تجتمع مع بعضها بعضاً في جماعات، وقطعان، ومجتمعات. ففي كل

مكان في نيو مكسيكو الشمالية، تذكِّر الخرائب المنخربة للأناسَزي بمدى قِدَم الدافع الذي دفعهم إلى التوحد مع بعضهم بعضاً لتشكيل وحدات كاملة أكبر، وأكثر تعقيداً. ربما يكون النظام الذي نكتشفه ببساطة مسألة تصور: تم إنشاؤنا هرمياً، ولهذا لا نستطيع أن نرى الكون إلا بتلك الطريقة. إن بعض العلماء في معهد سنتافي، في بحثهم عن قوانين التعقيد، يحاولون إيجاد دليل على أن الهرميات في الواقع طبيعية، أي أنها نموذج لا يترسخ ببساطة في نظّاراتنا بل في العالم، ترياقاً للعشوائية والفوضى.

إن اللعبة المفضلة لدى البيولوجيين هي تخيل كيف يكون الكون إذا مُسِحَ اللوح تماماً وتكررت الدراما التطورية من نقطة الصفر. وكما يتساءل البيولوجي والإحاثي الهارڤاردي ستيفن جاي جولد،[١٣٧] ماذا سيحدث إذا أعدنا لف الشريط وعزفناه من جديد؟ هل ستكون أشكال الحياة التي ستنتج من التغيرات العرضية للتطور، رميات الزهر الداروينية، شبيهة بما نراه اليوم في عالمنا؟ فإذا تم فعلاً إنتاج نظام العالم الحي إلى حد بعيد عن طريق تغير عشوائي واصطفاء، عندئذٍ تكون النماذج التي نراها عرضية غالباً، لا ضرورية؛ تاريخية، لا عامة. حتى الهرميات التي تدهشنا بإمكانية أن تكون معجزات الصدفة، لا تتطلب أكثر من امتلاك عشرة أصابع بدلاً من اثني عشر. وجولد نفسه يميل بقوة باتجاه الصدفة. ويعتقد بأنه لو أعيد عزف الشريط، فإن الحياة النباتية والحيوانية للأرض لن تكون كما هي عليه اليوم؛ ويشك في أنه سيكون هناك بيولوجيون يشعرون بدافع لفهم كل شيء. ويظن أن التعقيد، وربما الوعي نفسه، عرضيان. وعلى الرغم من كل شيء، ازدهرت بدائيات النوى على مدى نصف عمر الأرض دون إظهار أي دافع إلى أن تصبح أكثر تعقيداً. واليوم تتألف معظم كتلة الغلاف الحيوي من الجراثيم.

ومع ذلك، عندما نتأمل السهولة التي يبدو أن الأرض تنظم نفسها بها إلى كعكات زفاف بطبقات دائماً أكثر تعقيداً، فإنه من المغري الاعتقاد بأنها ليست عرضية كلها، أي أن هناك شيئاً ما أساسياً فيما يخص نشوء التعقيد. في مطلع تسعينيات القرن الماضي، بدأ فونتانا، الكيميائي في معهد سنتافي، وزميله ليو بَسّ، البيولوجي في ييل، تعاونهما في نظرية حول كيف نشأت الحياة ثم نظمت نفسها في بناء رائع مؤلف من طبقات فوق طبقات. وفي أحاديثهما الأولى، اكتشف بَسّ وفونتانا أنهما يتشاطران شكاً عميقاً في أن الهرميات كانت أكثر من رمية طائشة للتطور. واعتقدا بأنه لو تم تدوير الشريط من جديد، لجاءت المخلوقات الناتجة، في الواقع، مختلفة جداً عما نراه حولنا. ولكن حتماً ستنتظم نفسها في سلالم متزايدة التعقيد.

في عام ١٩٨٧، حقق بَسّ شهرته بنشر كتاب تحت عنوان *تطور الفردية*، وكان استكشافاً واضحاً لمشكلة كيف نشأت الهرميات، ولماذا؟ كيف يستطيع الممثلون الذين يسعون خلف مصالحهم المحلية الأنانية أن ينشؤوا أنظمة تخضع بموجبها المصلحة الفردية لمصلحة الكل؟ يبدو أن الجزيئات التي تتّبع قوانين الكيمياء، ذلك النسيج المعقد من التسويات التي تنشأ من الثنائية البسيطة المتجذرة عميقاً بين الشحنة الإيجابية والشحنة السلبية، تتحد بصورة طبيعية في استقلابات وخلايا–والخلايا في متعضيات، والمتعضيات في مجتمعات. ولكن، لكي تفعل ذلك، يجب أن يتعاون كل منها، متخلياً عن الملاحقة العمياء لمنفعته الشخصية، ولكي يحدث كل من هذه القفزات الهرمية، يجب أن يعمل الأفراد على إخضاع أهدافهم الأنانية لمنفعة المنظمة، مما يخلق، في

---

[137] يستكشف Stephen Jay gould مضامين إعادة لف شريط التطور في كتابه الجزمي Wonderful Life.

الواقع، فرداً جديداً من مستوى أعلى. وعندئذٍ، يُطرَح السؤال الشامل: كيف تنشأ هذه الفردية؟

أصبحت بعض الأجوبة عن هذه الأسئلة أكثر وضوحاً بسبب نظرية اصطفاء الأقارب. فالناس الذين يدرسون سلوك الحيوانات شوشتهم طويلاً مشكلة الغيرية: النحلات تبذل حياتها دفاعاً عن قفيرها، والطيور تعرِّض نفسها للجوارح بإطلاقها صيحة إنذار. فلماذا يكافئ الاصطفاء الطبيعي هذه الخلال الانتحارية؟ ثم يأتي دور السوسيوبيولوجيين الذين يحتجون بأنه إذا نظرنا إلى التطور من وجهة نظر الجين، بدلاً من المخلوق، فإننا لن نجد الغيرية ملغزة جداً. والكثير من المخلوقات المختلفة يؤوي جينات متماثلة: إذا كان غرض اللعبة هو أن تولِّد الجينات لنفسها نسخاً كثيرة إلى أقصى حد ممكن، عندئذٍ يمكن أن تدفع مخلوقاً واحداً إلى الموت في سبيل بقاء دزينة من المخلوقات على قيد الحياة. والمخلوقات الأقوى قرابة، ستخضع نفسها للمنفعة الأكبر إذا كانت النتيجة نثر المزيد من الجينات المشتركة. فوفقاً لاصطفاء الأقارب، فإن "المتعضيات العليا" ككثبان النمل وقفران النحل تنشأ لأن ثلاثة أرباع الجينات مشتركة عندها. وهكذا يصبح تعاونها مفهوماً. وجد البيولوجي ريتشارد دوكنز هذا المنظور ملزماً جداً إلى درجة أنه اقترح في كتابه *الجين الأناني* أنه يمكن أن نعتبر أنفسنا "مكنات بقاء،" ابتكرت بواسطة السمكرة التطورية من قبل ناسخين قدامى، هي نُتَفُ الدنا، لتوليد نفسها بصورة أكثر فعالية. وكتب دوكنز، "اليوم تحتشد[١٣٨] في مستعمرات ضخمة، آمنة داخل روبوتات عملاقة تتحرك بتثاقل، محكمة السد على العالم الخارجي، وتتصل به بطرق متعرجة غير مباشرة، وتؤثر فيه بالتحكم من بعد. وهي موجودة عندك وعندي؛ فهي تخلقنا، جسداً وعقلاً، وحفظها هو الأساس المنطقي النهائي لوجودنا."

إن الغيرية ليست محصورة بالحيوانات؛ وتتضخم الأحجية على طول الخط. لماذا تتبع الجزيئات المكررة لنفسها مصالحها الأنانية–صانعة لنفسها نسخاً كثيرة إلى أقصى حد ممكن–لتشكيل الاستقلابات، أي المجتمعات الكيميائية التعاونية؟ والخلايا التي اتحدت مع بعضها بعضاً لتشكيل متعضٍّ، كيف تعمل معاً بمثل هذا التناسق الدقيق؟ وكيف تمسك الخلايا عن الانهماك في اللهو المتهتك للتكرار، الذي يطلق النمو غير الموجه الذي يسمى نقيلة، أو سرطان؟

ومرة أخرى نقول إن اصطفاء الأقارب يزيل بعض الغموض. فإذا وجدت النمال، التي تشترك بثلاثة أرباع جيناتها، أنه من المفيد أن تعيش مع بعضها بعضاً في كثبان النمل، عندئذٍ ربما لن يكون مفاجئاً أن الخلايا–التي تحمل جينات متماثلة–ستكون مجبرة بالمنطق الدارويني أن تُخضِع مصالحها لمصالح المتعضي. ولكن مرة أخرى يُطرَح السؤال كيف تجتمع هذه التراكيب أولاً مع بعضها بعضاً. عندما تنطلق هذه الاتحادات، فإن اصطفاء الأقارب يساعدنا على فهم لماذا تبقى؟ ولكن ما الذي أجبر التنظيمات على النشوء؟ وما مدى نشوئها عن تغير عشوائي واصطفاء طبيعي؟ وإلى أي مدى نشأت من تنظيم ذاتي؟ أو، بمعنى آخر، إلى أي مدى كانت طارئة، أي عرضية، أي لا يحتمل أن تحدث مرة أخرى؟ وإلى أي مدى كانت متوقعة تماماً؟

في الحيرة التي يسببها الارتباك، اقترح بَس، في كتابه *تطور الفردية*، بأن ننظر إلى المتعضي بطريقة مختلفة إلى حد دقيق. ففي اصطفاء الأقارب، تتنافس الجينات، أكثر من المخلوقات، من أجل البقاء. وفي خطوة إضافية إلى أمام، اقترح بَس أنه داخل مخلوق منفرد، يتواصل التطور في مستويات مختلفة كثيرة في وقت

---

[138] الاقتباس من ص ١٩-٢٠ من كتاب "اليوم تحتشد": - selfish Gene.

واحد–ليس فقط في مستوى الفرد ومستوى الجين، ولكن في مستوى الخلية وحتى في مستوى الجزيء. وفي الوقت نفسه، يلعب حيوان يتنافس ويتعاون مع نوع آخر، دوره في النظام البيئي، يحاك داخله "نوع" مختلف من الخلايا في نسيجها الخاص للاتحادات. وداخل الخلايا تكون الأنظمة البيئية للجزيئات– الاستقلابات. وتعشش مجتمعات داخل مجتمعات كالدمى الصينية. وفي كل مستوى، يمكن أن تكون الاستراتيجية الأفضل هي إخضاع المصالح الأنانية للفرد لفائدة النظام، لأن النظام إذا مات، فإنه يأخذ أجزاءه معه.

ومن هذا المنظور، يمكن للمرء أن يروي قصة الخلق التي تحدث تقريباً كما يلي: في البدء، ربما كانت هناك الجزيئات المكررة لنفسها التي كانت معتمدة على وجود الأنزيم، أي الربليكاز replicase، الذي صدف وجوده في المياه حولها. وبعدئذٍ بدأت كارثة بيئية فجأة. فحدثت مجاعة الربليكاز، التي سبَّبها ربما فيض السكان، أي الكثير جداً من الناسخين الذين يتنافسون على استخدام الأنزيم. وفي هذه البيئة الجديدة، كان يجب أن تكون هناك أفضلية بقاء ضخمة للناسخين الذين يمكن أن يتعلموا صنع الربليكاز الخاص بهم. وربما تطلب هذا مساعدة الآخرين، ولهذا نفترض أنه صدف أن اجتمع عدد من الناسخين مع بعضهم بعضاً في نسيج ذاتي الحفز كان أنزيم الربليكاز واحداً من منتجاته. وعندما تواصل اضمحلال الربليكاز الذي يوجد بصورة طبيعية في البيئة، أصبح الربليكاز التركيبي أكثر أهمية. وهكذا تزايد اعتماد كل جزيء في الشبكة على بقاء الكل. ولنفترض أيضاً أن طفرة جعلت واحداً من أعضاء الاستقلاب أكثر فعالية في نسخ نفسه، على حساب الجزيئات الأخرى. في هذه الحالة، سينهار المجتمع الاستقلابي. ومن ناحية أخرى، إن الآليات الكيميائية التي ثبطت بطريقة ما الجزيئات الفردية عن هوسها في توليد نفسها، ستتمتع بميزة انتقائية كبيرة. وسيزدهر الاستقلاب الذي عثر صدفة على آلية لتوجيه الأعضاء الخاصين به، الذين ينظمون مقدرتهم على التكاثر.

ومع ذلك، سيكون الركود في نهاية المطاف هو ثمن الاستقرار. ففي حين يكون جزيء منفرد حراً في استكشاف مدى ضخم من الإمكانيات، متحولاً إلى كل شكل يمكن تخيله، تكون الجزيئات في الشبكة مقيدة أكثر. فقط ترتيبات معينة تكون مستقرة بما يكفي للبقاء. وفي مرحلة ما، ستكون قد استُكشِفَت كل بيئة تطورية متاحة للاستقلاب، أي المياه المكتظة بكل أنواع الشبكات القابلة للحياة، التي تتنافس على الغذاء الجزيئي. وإذا كان يجب أن يستمر التطور، فإن الاتجاه الوحيد للتقدم سيكون نحو الهرمية. ويمكن أن تكون كل البيئات المتاحة للاستقلابات المنفردة محتلة، ولكن البيئات المتاحة للمجموعات المؤتلفة من الاستقلابات ستبقى دون استثمار. ويمكن للاستقلابات التي صدف اجتماعها مع بعضها بعضاً في اتحادات أن تستعمر هذه الأرض المجهولة. وتماماً كما تزيد الجزيئات قدرتها على البقاء عن طريق الترابط مع بعضها بعضاً، كذلك يمكن لعدد من الاستقلابات أن تتحد لإنتاج نوع من خليف استقلاب الذي يركِّب المزيد من المواد المغذية الضرورية للبقاء. والآن، في وقت المجاعة الكيميائية، ستتمتع هذه الشبكات الأكثر تعقيداً بأفضلية. فيمكن حتى أن تنتشر إلى أجزاء أخرى من البركة التي كانت يوماً غير مضيافة بسبب الافتقار إلى المواد المغذية. وستبقى الاستقلابات ضد استقلابات لمعادلة السموم مجالات أخرى تنتظر الاستكشاف. وسيصبح عالمها أوسع.

أن يغامر المرء في أرض غريبة هو الأسلم إذا كان يمتلك وسيلة. وهذه الاستقلابات الإضافية التي تعثر على طريقة لتعليب نفسها في حويصلات يمكن أن تستعمر عالماً جديداً بكامله–كل البيئات التي تحتوي على

أشكال مختلفة من الخلايا يمكن أن تنمو. وهكذا تولد بدائيات النوى، كما تقول القصة. ولكن هناك أيضاً ثمن لهذه القدرة الجديدة. فعندما يتحد استقلاب مع استقلاب آخر، فإنه لن يبقى حراً كما كان قبل ذلك. ويرتبط مصيره بشكل لا ينفصم بمصير الخلايا. وفي النهاية، يبدأ الركود أيضاً. فتُحتَل كل البيئات الجديدة والاتجاه الوحيد إلى التطور يكون إلى الأعلى. وتُدفَع بدائيات النوى المكررة لنفسها إلى تشكيل مجتمعات: خلايا سوية النوى.

وبما أن بدائيات النوى المذكورة هذه تكون الآن أجزاء من كل أكبر، فإنها لا تتخلى تماماً عن طرقها القديمة. وفي هذا الترتيب الجديد للخلايا داخل خلايا، يتقدم الاصطفاء في أكثر من مستوى واحد. فالأشكال المختلفة لسويات النوى نفسها تُصطفى من قبل البيئة، ولكن البروتوبلازما، أي العضيات داخل البيئة الخلوية، أيضاً تواصل تطورها. وما هو ملائم للعضيّ، يكون أحياناً ملائماً للخلية، ولكن غالباً ستكون هناك نزاعات: طفرة تساعد متقدرة يمكن أن تكون مؤذية للعضيات الأخرى التي تكون وظائفها حاسمة لعملية الجمع. هنا يجب أن تنطلق التسويات. فمن وجهة نظر الخلية، سيكون هناك مصلحة اصطفائية لحصر الاختلاف في المستوى الأدنى. وتفقد العضيات آليتها التكرارية الخاصة في حين يفرض عضيٌّ منفرد، هي النواة، سيطرته على التكاثر إضافة إلى سيطرته على كامل الخلية. واليوم نرى ما يمكن أن يكون مستحاثات من زمن أقدم: المتقدرات وحبيبات اليخضور، مع مخزونها الخاص من الدنا.

إن ثمن الاستقرار، كما قلنا سابقاً، هو ركود نهائي، وإذا كان على التطور أن يتقدم، فإنه يجب أن يتسلق درجة أخرى على سلم الهرمية، مكوِّناً فرداً أكثر تعقيداً، أي وسيلة جديدة يستخدمها للاستكشاف. والفرص المتاحة لمجموعات مؤتلفة من مختلف أنواع الخلايا تكون أكثر بكثير من مثيلاتها المتاحة لخلية وحيدة بمفردها. وهكذا ستكون هناك مصلحة اصطفائية ضخمة لطفرة تسمح للخلايا بالتمايز وتشكيل متعضٍّ. ومرة أخرى، تتوسع البيئة، وتقدم حيزاً جديداً للإمكانيات.

ضمن هذه الخليقة الجديدة–مخلوقات متعددة الخلايا–يتقدم التطور أيضاً على عدة مستويات. والمخلوق ككل، يُصطفى من قبل بيئته، مع كل هذه البيئات الجديدة، ولكن الخلايا تواصل التنافس ضمن البيئة الداخلية للجسم. ومرة أخرى يمكن أن تساند طفرة ما ذرية الخلايا على حساب المتعضي. ولكن ما هو صالح من وجهة نظر الخلية، الذي يمكن أن يشجعها على صنع أكبر عدد ممكن من النسخ، هو خباثة من وجهة نظر الجسم. وهنا يجب القيام بالتسويات لكي تستطيع المجموعات الكثيرة المتنوعة من الخلايا أن تعيش مع بعضها بعضاً، وفي الوقت نفسه، تحفظ الكل.

يأمل بَس أن تعمل هذه الرؤية لمستويات الاصطفاء المتعددة على تقديم نافذة على سر النمو: كيف ينمو جنين إلى جسم. نحن ننظر إلى النمو بوصفه نمواً منسقاً إلى حد رائع، ولكن ربما بدأ كعملية جامحة شرسة، عندما ناورت المجموعات المختلفة من الخلايا من أجل الفائدة. وأخيراً، تطور نسيج من العلاقات المتبادلة المفيدة، أي نظام من الضوابط والتوازنات التي تحفظ الوحدة الكاملة، الذي لولاه لمات الكل. ولنعد من جديد إلى التفكير بالنظام البيئي: يؤدي التنافس الدارويني إلى شبكة من التسويات، أي معاهدات متراكبة تسمح لكل مخلوق أن يكسب أفضل ما يستطيع من الرزق دون تدمير النظام الدقيق لدعمه.

وسواء أكنا نتحدث عن جزيئات، أو خلايا، أو متعضيات، فإن اتحادات الكينونات الأكثر بساطة يمكن أن تستكشف بيئات ليست مفتوحة لكينونة منفردة فقط. ولكن الثمن دائماً هو إخضاع الحرية، حيث يجب تقديم التضحيات في سبيل الكومونوِلث. وفي كل مرحلة من الهرمية، تنشأ إمكانيات جديدة، ولكن التوازن يبدأ حتماً والطريق الوحيدة للتطور تكون إلى أعلى، لخلق وسيلة جديدة لاكتشاف نواحٍ جديدة في الحيز التطوري. وكما كتب بَسّ في كتابه *تطور الفردية*، "ما أن تستقر الحياة، حتى تعمل على كساء نفسها بلبس 'العريات' المتزايد دائماً."[١٣٩]

أين تتوقف الهرميات؟ وهل يمكن لنظام بيئي كامل أن ينمو إلى فرد، يكبت حرية كل عضو member قبل أن يصبح الجميع أعضاء organs في جسم؟ وهل يستطيع هذا النظام المترابط بقوة أن يطور القدرة لنسخ نفسه، ونشر أبواغه إلى كواكب أخرى؟ "الفكرة تدفع العقل إلى التخيل،" كتب بَسّ. "فإذا لم تكن الأرض–أو كوكب ما شبيه بالأرض– موجودة قريبة جداً من نطاق نجمي تائه، عندئذٍ ستوحي هذه المناقشات بأن الحياة ستواصل، دون كلل، تطوير كينونات هرمية.

على الرغم من التنوير الذي وفرته رؤية بَسّ، فإنه بدأ يعتبرها غير مقنعة. وهو أيضاً كان يلفق قصص **جَسْتْ سو**. ساعدت نظريته على شرح الأساس المنطقي التطوري لمختلف مراحل الهرمية. وشكل كل منها معنى داروينياً. فكان مفهوماً أن الاتحادات سوف تبقى حال تشكلها. ولكن بعد أن مضى بالتكيفية إلى أقصى ما يمكن، بقي عاجزاً عن القول بثقة لماذا ينبثق كل مستوى إلى الوجود أولاً–لماذا تحدث التحولات بدلاً من الركود (بالتأكيد سبيل المقاومة الأدنى.) ماذا سيحدث إذا تم تدوير الشريط من جديد؟ وهل كان تسلق الهرمية حتمياً أم أنه كان مجرد سلسلة من حظ طيب–حادث مؤات إثر آخر؟ كان ما يزال مرتبكاً بسؤال لماذا انتهى حكم البليوني سنة لبدائيات النوى.

بدأ بَسّ، وقد ثبطته استنتاجاته، يلهو بفكرة أنه شارك في توليد النظام أكثر من التغير العشوائي واصطفاء التطور الدارويني. لم يكن يبحث عن نوع من التعليلات الكلانية التي يستطيع المرء أن يجدها في وسط المعالجين في سنتافي–الإيمان بأن الحياة لا يمكن تعليلها بالكيمياء، أي أن الحياة تُبعَث فينا بواسطة طاقات بلّورية خفية، هي **قوة الحياة**، وهو اندفاع حيوي لا يوصف. وكما أظهر ستيوارت كوفمان ومعاونوه بمجموعاتهم الذاتية الحفز، فإن التشكل العفوي للنظام ليس غير محتمل بقدر ما تعودنا أن نعتقد: عندما يصل حساء كيميائي عتبة التعقيد، تتجه التشابكات الاستقلابية إلى الارتفاع حسابياً. وربما كان يمكن المضي بالبرهان خطوة إضافية، لإثبات أنه عندما نشأ استقلاب، جعلت قوانين التعقيد اتحاده طبيعياً مع استقلابات أخرى في تعضٍّ، وكذلك اتحاد التعضيات مع تعضيات، وهكذا صعوداً إلى أعلى السلم. من هنا أخرج فونتانا القصة، لأنه قدم طريقة لاختبار افتراضه، بمحاكاة حاسوب. وبتفكيك الكيمياء إلى ما اعتبره عناصرها الأساسية المجردة، سيحاول خلق شيء ما يشبه التكون ويتيقن بنفسه ما إذا كانت الهرميات حتمية أو عرضية. وبهذه الطريقة المحدودة، سيقبل تحدي چولد ويعيد تدوير شريط الحياة.

---

[139] "ما أن تستقر الحياة": Evolution of Individuality لـ Leo Buss.

بدأ فونتانا العمل بالكيمياء الاصطناعية في أواخر ثمانينيات القرن الماضي باعتباره عضواً في مجموعة دويْن فارمر للأنظمة المعقدة في لوس ألاموس. وكان الكثير من البيولوجيين يعتبرون أن مجموعة لوس ألاموس، في محاولتها محاكاة الكيمياء قبل الحيوية، قد مضت بعيداً إلى كهف التجريد، رافضة الكثير جداً من التفصيل إلى درجة لا يحتمل معها أن يقول نموذجها شيئاً مفيداً جداً حول الحياة على الأرض. فكانت جزيئات المجموعة A وجزيئات المجموعة B عندهم أضعف بكثير من أن تتمتع بقدرات حفازة في العالم الواقعي. ولكن النموذج بقدر ما كان مجرداً بذرّاته الهجائية، فإنه شكل محاولة هامة نحو الواقعية الأرضية، إلى حد شعر فونتانا معه بأنه لم يكن مجرداً بما يكفي، إلى درجة أنه التصق بقوة بالكيمياء التي صدف أن تطورت على هذا الكوكب. وبتنقيح كل ما كان يعتبره تفصيلاً مُلهِياً، كان يأمل أن يثبت أن التعضيات الحياتية ليست مجرد وظيفة لنوع من الجزيئات التي تتراكم في هذا الموضع الخلفي من درب التبانة، بل هي خاصية عامة للكون.

إن سمة المحاكاة الجيدة هي أنها تميز الأساسي من العرضي، شاقَّة طريقها فيما يعتبر تفصيلاً في غير محله للوصول إلى لب المشكلة. ويتطلب هذا اجتهادات غريزية حول ما التفاصيل التي تكون حاسمة وما التفاصيل التي يمكن تجاهلها. واعتماداً على ميول المنظِّر، يستطيع المرء أن يتخيل تدرج مقاربات ممكنة لمحاكاة الكيمياء قبل الحيوية: في واحد من طرفي المقياس، يمكن للمرء أن ينسخ الكيمياء الأرضية بتفصيلها الغني. فذرات الكربون المحاكاة بروابط تكافئها الأربع ستجتمع مع الذرات المحاكاة للهدروجين، والأكسجين، والنتروجين، وغيرها. وفي الواقع، ليس هناك مُبرمِج ذكي بما يكفي، ولا أي حاسوب قوي بما يكفي لإنجاز كلتا المهمتين. وحتى إذا استطاع العلماء أن يطوروا محاكاة دقيقة الحبيبات لطرق تفاعل الذرات، فماذا ستُظهِر؟ ستكون الكيمياء قد نُقلَت من العالم الفيزيائي إلى العالم المُحاكى داخل حاسوب، إضافة إلى كل أسراره. ويمكن أن تجتمع الجزيئات المحاكاة مع بعضها بعضاً لتشكل استقلابات محاكاة وحتى خلايا محاكاة. ولكن عندئذٍ ستحتفظ المُحاكِيات بالألغاز نفسها التي تحتاج إلى حل. وكنظرية، يجب أن تكون المحاكاة عامة ومجردة أكثر من الشيء الذي أُعدَّت لتفسيره، أي أنها يجب أن تعمل كانضغاط.

إذا رسا نموذج يحتوي على ذرات الكربون، وذرات الهدروجين، والمكونات الأخرى للجزيئات العضوية إلى الجهة اليسرى، أي الطرف المحسوس أكثر لمقياس المحاكيات، عندئذٍ يمكن أن تحوِّم ترجمة لوس ألاموس للكيمياء الاصطناعية في مكان ما نحو الوسط. وفي الطرف البعيد للطيف سيكون التجريد الصارم لفونتانا، الذي سماه الكيمياء الحسابية-"الخيمياء،" [140] اختصاراً. وعلى خلاف المحاكاة عند زملائه، فإن الخيمياء لا تحتوي على معلومات حول التراكيز الكيميائية وسرعات التفاعلات؛ ولم يكن هناك مصدر محاكى للطاقة الشمسية لتشكيل الروابط الكيميائية. كان هناك ببساطة سلاسل من الرموز (مثلثات، دوائر، مربعات) تتصادم عشوائياً مع سلاسل أخرى من الرموز. ومن هذه الاصطدامات، وُلِدَت سلاسل جديدة. وباستخدام هذا كإطار، استطاع فونتانا أن يُظهِر، كزملائه، أنه، في ظل شروط جيدة، نشأت شبكات مُعيلة لنفسها-استقلابات- وفَّرت المزيد من الأمل لأولئك الذين يعتقدون بأن الحياة، في نهاية الأمر، ليست حادثة دقيقة أو بعيدة الاحتمال. ولكن فونتانا

---

[140] عمل فونتانا الأصلي حول الخيمياء هو بحث عام ١٩٩٢: Algorithmic Chemistry الذي ورد في Areificial Life II لـ Langton، و Rasmussen، و farmer.

تقدم خطوة إضافية. وعندما اجتمع اثنان من استقلاباته المتشكلين بصورة تلقائية، فإنهما اتحدا لإنتاج متعضٍّ تكافلي، وهو نوع من خليف استقلاب. ويبدو أن الخطوة التالية كانت خلائف–خلائف استقلابات، وهلمجرا، خطوة خطوة صعوداً على سلم التعضي.

كان الحديث الذي وصف به فونتانا وبَسّ هذا التطورات،[١٤١] بالنسبة للكثيرين، هو الموضوع الرئيس في المؤتمر الثالث حول الحياة الاصطناعية الذي عقد صيف ١٩٩٢ في وسط مدينة سنتافي التجاري. بدأ العرض في شكل محاضرة قدمها بَسّ، انفجرت بعدئذٍ إلى ما بدا كنقاش عفوي بين ليو ووولتر حول المعنى الحقيقي للبيولوجيا. كان يتمشى على المنصة بطريقته التي سماها ستيورات كوفمان "طريقة محامي ريفي،" مرتدياً سروالاً بحمالتين ونظارة سلكية الإطار، شاب ضخم ملتحٍ، بشعر بني مشعث يغطي أعلى أذنيه. وأوضح، وهو يحك أحياناً رأسه ويدفع كتلة شعر عن عينيه، قناعته بأنه عندما يتعلق الأمر بتعليل نشوء التكوين في العالم البيولوجي، فإن التطور الداروني بالكاد يكون أكثر إقناعاً من قصص **جَسْتْ سو**. وقال إنه عندما تجتمع الجزيئات مع بعضها بعضاً لتشكيل الخلايا البدائيات النوى، يمكن أن نستنجد بالداروينية لشرح كيف تتطور هذه الخلايا. وعندما تتحد بدائيات النوى لتشكيل سويات النوى، يمكن أن نستخدم الداروينية لشرح كيف تتطور سويات النوى. وعندما تجتمع الخلايا السوية النوى مع بعضها بعضاً لتشكيل المتعضيات، يمكن أن نستخدم الداروينية لشرح كيف تتطور المتعضيات. ولكن ما الذي يدفع هذه التحولات إلى الحدوث أولاً؟

"في الواقع، إنه شيء غريب جداً،" قال بَسّ. "يبدو أننا جميعاً قانعون بنظرية التطور في شكلها الحالي. ولدينا هذا الشكل المقبول عملياً على الصعيد العالمي. ونتعلم من الكتب المدرسية نفسها. ولكن سأُظهر أن الشكل الذي لدينا يتهرب من جوهر النقاش." وعندئذٍ قطع أفكاره الخيالية، ونظر إلى فونتانا، الرجل النحيف الأنيق الهندام الذي كان يجلس في الصف الأمامي في قاعة المحاضرات. "إلى هنا، هل هذا تصوير مناسب، يا وولتر؟"

فرد فونتانا بمقاطعه العميقة المصوغة بدقة، "حسناً، أفهم أن ما تريده هو نظرية تعضية..."

"بالضبط،" أجاب ليو. "المشكلة هي مشكلة تتكرر دورياً. فهوجو دو ڤريس، الطفراوي الكبير عند منقلب القرن، أنهى كتابه[١٤٢] عام ١٩٠٤ بسطر رائع يلخص هذا حقاً–لم يكن يهتم ببقاء الأصلح، بل بمجيء الأصلح."

فقاطعه فونتانا، "أفترض أنك لا تهتم كثيراً بنشوء الحياة."

وأجاب بَسّ، "لا. فنشوء الحياة في الواقع هو فقط التمثيل الأول لهذه المشكلة. ونحن نهتم بنشوء كل فئات التعضي هذه. كيف حصلت على الجينات، كيف حصلت على الخلايا، كيف حصلنا على أفراد متعددي الخلايا..." ثم، وكأنه سحق بحجم المهمة، نظر مباشرة إلى فونتانا وقال، "لماذا لا تأتي فوراً إلى هنا، يا وولتر؟"

اتضح الآن أن ما بدا كمواجهة عفوية كان قد خطط له بعناية. ارتقى فونتانا المنصة، وراح يراقب ليو وهو يضع بأناة الشرائح الشفافة المصورة على جهاز عرض علوي، شارحاً الرؤية القياسية لتاريخ الحياة: كيف ولَّدَت

---

[141] ، التي حررها كريستوفر لانجتون.Artificial Life III -تم توثيق مؤتمر ١٩٩٢ الذي قدم فيه فونتانا وبَسّ عرضهما في محاضر الجلسات،

[142] كتاب هوجو دو ڤرايز الذي يشير إليه بَسّ هو- Species and Varieties: Their Origin by Mutation.

الجزيئات المكررة لنفسها (سمَّاه المستوى ٠) بدائيات النوى (المستوى ١)، التي ترابطت مع بعضها بعضاً لتشكيل سويات النوى (المستوى ٢)، التي اتحدت لتشكيل المتعضيات (المستوى ٣).

"انتظر لحظة،" قاطعه وولتر، وكأنه سمع هذه القصة عدة مرات من قبل. "نحن لا نهتم بفهم التعاقب التاريخي، بل نهتم بفهم ما هو ضروري وما هو عارض." وبمعنى آخر، نحن بحاجة إلى أن نعرف ليس فقط كيف ظهرت الحياة، ولكن *لماذا* ظهرت بتلك الطريقة. فعلى سبيل المثال، إذا استطعنا أن نأخذ كوكبين، وبتجربة مقارنة، ونثرنا فيهما الجزيئات نفسها، فهل ستنتج تلك الجزيئات أغلفة حيوية مماثلة؟

"ذلك صحيح،" قال ليو. "إنها المشكلة القديمة لـ 'الأرض الحاكمة'. إذا أعدتُّ التجربة من جديد، فإنني أريد أن أعرف ما السمات التي ستنشأ بالضرورة وأريد أن أعرف أي طبقات التعضي ستنشأ بالضرورة."

ولكن ماذا قصد ليو بالتعضي؟ وفيما يخص ذلك، ما الجزيء؟ وبدأ وولتر ينخس زميله لكي يدرس بدقة العبارات التي يطرحها هنا وهناك بشهامة، هو وزملاؤه البيولوجيون.

"طبعاً، الجزيء هو الجزيء و... التعضي هو التعضي." وبينما كان ليو يكافح بهدوء من أجل أجوبة، وضع وولتر شريحة شفافة مصورة من عنده على جهاز العرض العلوي: "تحذير، أمامكم تجريد كبير." وفجأة جوبه المتلقون برسوم تخطيطية مربكة من دوائر، ومربعات، ومثلثات–جزيئات مجردة تتحد في تراكيب معقدة أكثر فأكثر.

وعندما أوجز فونتانا التفاصيل، نظر إليه بَسّ بمزيج من الشك والافتتان اللذين ربما كان قد أبداهما عندما نشر وولتر الخطة لأول مرة قبل عدة سنوات. في خيمياء فونتانا، تمثل سلاسل المثلثات، والمربعات، والدوائر الأنزيمات، وهي، كالأنزيمات، تقوم بدور مزدوج: كأشياء وعمليات. فالبروتين، بالمعنى المألوف، هو شيء– سلسلة من الأحماض الأمينية المتشابكة–ولكن أيضاً يقوم بوظيفة، هي تحفيز تفاعل كيميائي خاص. وهكذا في حساب الحاسوب: هو شيء (سلسلة من واحدين وأصفار تُمثَّل ربما بنقاط ممغنطة على محرك القرص أو شحنات في رقاقة الرَّام)، يتضمن عملية، هي إنجاز مهمة معينة. وقد عبر فونتانا عن ذلك يوماً بالقول إن علماء الرياضيات، على مدى قرون، درسوا الدَّالات التي لم تكن أشياء: قال إن التجريدات المحضة موجودة في السماء الأفلاطونية. وعلى مدى قرون، درس الفيزيائيون الأشياء التي لم تكن دالآت: كل شيء من تصادم كرات البليارد إلى الكواركات. وبعلم الحاسوب، وجد الناس طريقة للتحدث عن الأشياء التي هي دالآت. فأصبحت الرياضيات التي اشتُمِلَت بوصفها علم حاسوب، وسيلة مثالية للحديث حول كيف يولَد التعقيد عندما تتفاعل تراكيب مع تراكيب.

استوحى فونتانا إلهامه، بوجه خاص، من الطريقة العوديَّة التي تعمل فيها بعض لغات الحاسوب، كالليسْب[١٤٣] Lisp (اختصار لعبارة "list processing–معالجة البيانات) ومع أن كل الحسابات هي، بمعنى ما، أشياء ودالآت، فإن هناك، في معظم رموز الحاسوب، تمييزاً حاداً بين الحسابات والبيانات التي تعالجها. فلجمع ٢ و٢، يُلَقَّم المعطيان، ٢، ٢، إلى حساب الجمع، +، ونحصل على ٤–جزء آخر من المعطيان، الذي

[143] لـ Lambda، و Bach، و Escher،و Gödel العودية بقوة، انظر رياضيات التفاضل والتكامل عند Lisp -من أجل معنى ذكي لطبيعة الليسب Douglas Hofstadter من الفصل الثاني في the Emperor's New Mind لـ roger Penrose.

يمكن تلقيمه إلى حساب آخر الذي يجد جذره التربيعي. في الليسْب، يختفي الحد بين البيانات والحسابات. ففي لحظة، يمكن أن تستدعى سلسلة ليسْب لكي تعمل كحساب، ينجز الوظيفة المرمزة في سلسلة رموزه، وفي اللحظة التالية يمكن أن تُعالَج كبيانات، وتُلقَّم إلى حساب آخر وتُعدَّل بطريقة ما. نأخذ سلسلة ليسْب واحدة ونلقمها إلى سلسلة أخرى ونحصل على سلسلة ثالثة، التي يمكن أن تعمل كدالَّة جديدة تماماً. وهكذا فإن برنامجاً مكتوباً في الليسْب يمكن أن يغير نفسه عندما ينطلق، مشكلاً قوانين جديدة أثناء تقدمه.

ونتيجة لطبيعته التكرارية، يكون الليسب لغة طبيعية لتطوير برامج ذكاء اصطناعي: تولِّد سلسلة جديدة لرموز يمكن اعتبارها كشكل للتعلم، أي اكتساب قاعدة جديدة. ورأى فونتانا أن الليسب، أو شيئاً شبيهاً به إلى حد بعيد، سيكون أداة صالحة لتشكيل كيمياء. ويمكن أن يعمل أنزيم كدالَّة، تبدل جزيئات أخرى. أو يمكن أن يعمل كشيء، شيء ما يتغير بواسطة أنزيمات أخرى. وهناك طريقة أخرى يعتبر الأنزيم فيها كحاسوب صغير. والمثال النموذجي للحاسوب الرقمي، في علم الحواسيب، هي آلة تيورِنج. نلقم شريط دخل، مرمَّز برموز، إلى الصندوق الأسود. ونعطي آلة تيورِنج المبرمجة بشكل ملائم شريطاً يقول ٢ + ٢ وننكب على العمل حتى تستبدل التعبير بالرمز ٤. فإذا اعتبرنا الأنزيم كمكنة تيورِنج، فإن شريط الدخل يكون الجزيئات التي تؤثر عليها ويكون الخرج هو الجزيئات الجديدة التي يتم إنتاجها.

ابتكر الليسب جون مكارثي، عالم الرياضيات من جامعة ستانفورد، وكثيراً ما قيل إنه صاغ مصطلح "الذكاء الاصطناعي." وطور اللغة من نظام المنطق الرمزي المسمى بحساب اللامدا،[١٤٤] الذي يستغل أيضاً هذا الالتباس القوي بين الشيء والدَّالَّة. وكما شرح فونتانا لليو بَسّ، فإن حساب اللامدا (الذي تجنب، على سبيل الشفقة، وصفه بالتفصيل) يحتوي على العظام الجرداء التي تقتضي السماح للأشياء بأن تتصادم مع بعضها بعضاً وتصنع أشياء جديدة. في تجريد فونتانا، تعتمد الكيمياء فقط على فكرتين: التركيب والتماثل. والنظام الكيميائي يجب أن يكون قادراً على بناء الأشياء، حيث يأخذ المكونات البسيطة ويوحدها في وحدات كاملة أكثر تعقيداً، ويجب أن يكون قادراً على تمييز متى يكون شيئان متماثلين. يمكن أن يكون هناك الكثير من الطرق لصنع جزيء–الألانين، مثلاً–لكن يجب أن يميزه النظام على أنه الشيء نفسه أياً كانت الطريقة التي صُنِع فيها؛ ويجب أن يؤدي وظيفته بالطريقة نفسها، بغض النظر عن جذوره. فإذا قام A بصنع B، وB بصنع C، وC بصنع A، عندئذٍ يجب أن يعرف النظام أن جزيئات A في كل طرف من التسلسل متماثلة. وعندئذٍ يمكن إغلاق السلسلة لكي تشكل أنشوطة، وهي دائرة في نسيج استقلابي. وكما عبر فونتانا، فإن التركيب يؤدي إلى التنوع وتمييز التماثل يؤدي إلى تكوين الشبكات.

في العالم الفيزيائي، لا يمكن أن تتحد الذرات والجزيئات بصورة اعتباطية؛ فهناك ترتيب ينشأ من قوانين الفيزياء: شكل الأنزيم، وتوزيع الشحنات. وهناك مجموعات مؤتلفة من الذرات ستنهار أو تعيد ترتيب نفسها في أشكال مستقرة من الناحية الدينامية الحرارية. ففي خيمياء فونتانا، تقوم قوانين حساب اللامدا مقام قوانين الفيزياء، التي تُملي طرقاً يتاح فيها لذراته وجزيئاته أن تتحد. وينتج عن ذلك كيمياء أكثر شمولاً بكثير من الكيمياء التي يصدف أن تسود على الأرض، وتصف كيف تتفاعل مع بعضها بعضاً سلاسل الرموز، سواء كانت تتألف من

---

144 ـ اللامدا: هي درجة الحرارة التي تصل عندها الحرارة النوعية إلى قيمة حادة ثم تهبط مع درجة الحرارة-المترجم

أحماض أمينية، أو نكليوتيدات، أو تعابير في الليسب. كان فونتانا يأمل أن تقوم، في ظل شروط أوسع مدى، سلاسل رموز من كل الأنواع بتنظيم نفسها في وحدات كلية أكبر.

أخبر ليو بَسّ بأنه، في المرحلة الأولى، كان يولّد عشوائياً ألفين أو ثلاثة آلاف شيء–سلاسل من دوائر، ومربعات، ومثلثات–ويراقب ما يحدث عندما تمتزج فيما يمكن اعتباره دورقاً زائفاً. ويتم عشوائياً أيضاً اختيار سلسلتين، ويُسمَح لهما بالتفاعل وفقاً لشكلهما والفيزياء المتضمنة في قوانين حساب اللامدا: يصطدم i (الحفاز) بـ j (الركيزة) وينتج k (ناتج التفاعل). وعندئذٍ تُتاح k لتفاعلات مع سلاسل أخرى. ويضاف إلى البركة شيء جديد، وبما أن الأشياء أيضاً تقوم بوظائف، فإن النظام يشكل قانوناً جديداً. وتصبح ممكنة التفاعلات التي لم تكن ممكنة من قبل. وعندما تتكون سلسلة جديدة، فإنه يتم عشوائياً اختيار سلسلة أخرى وقتلها لتفادي الازدحام.

إن هذه الصورة للسلاسل التي تصطدم جزافاً مع سلاسل توحي باستعارة الغاز. فبدلاً من مزيج متجانس من جزيئات بسيطة تطفر هنا وهناك في حاوية، فإن هذا الغاز يتألف من أنزيمات، أي سلاسل يمكن أن تعمل كآلات تيورِنچ صغيرة، معتبرة بعضها بعضاً كدخل ومنتجة سلاسل جديدة. وهكذا يشار أحياناً إلى نظام فونتانا بأنه غاز تيورِنچ، وهو مزيج عشوائي من كل هذه البرامج الصغيرة التي تتصادم وتغيِّر بعضها بعضاً.

عندما جرب فونتانا المحاكاة لأول مرة، اتضح بسرعة أن شيئاً ما كان خاطئاً. فقبل أي شيء من قبيل نسيج ذاتي الحفز يتبلر من الفوضى، أصبح النظام مغزواً بالطفيلات: سلاسل ناسخة لنفسها منتجة جداً إلى حد أنها سيطرت على الدورق، دافعة كل شيء آخر. وفي بعض الحالات، ستتشكل عُرىً بسيطة قليلة ذاتية الحفز. ولكن إذا شُوِّش النظام قليلاً، بإزالة أو إضافة جزيء، فإنه سينهار بصورة ثابتة تقريباً إلى سكان من هؤلاء الناسخين للذات، الذين يدفعهم الأمر للإنتاج إلى درجة أنهم لا يملكون حافزاً للمشاركة في الاستقلاب.

ولتفادي هذه المشكلة في التجارب المستقبلية، ركّب فونتانا مرشّحة لمنع نسخ الذات. فإذا اصطدمت i بـ j وأنتجت i من جديد، فإن المرشِّحة ستبطل الإجراء. فتُزال i الثانية وتستعاد المُفاعِلات الأولية. وفي لغة غازات تيورِنچ، تكون التصادمات الناسخة للذات مرنه. ومع أن هذا استطاع أن يستوقف البعض باعتباره حلاً خاصاً إلى حد ما، فإن فونتانا قدم أساساً بيولوجياً منطقياً. لنتخيل أن البحيرة البدائية للجزيئات وقد سيطر عليها ناسخ للذات غزير الإنتاج، مانعاً إمكانية نشوء أي شيء أكثر تعقيداً في الحساء. وبعدئذٍ لنفترض حدوث تقلب في البيئة، ربما فقدان أنزيم الريليكاز المطلوب، يجعل فجأة نسخ الذات صعباً. فهذا يمكن أن يمهد الطريق لتشكل استقلاب.

كانت نتيجة التغيير مثيرة. وكما شرح فونتانا لليو، فإن النظام، عندما مُنِع نسخُ الذات، بدأ بإنتاج شبكات معيلة للذات من التفاعلات، أي مجموعات ذاتية الحفز. وعملت خيمياؤه، هذه الوسيلة لتحويل العناصر، على تحويل الرصاص إلى ذهب، الذي يأخذ سلاسل ميتة من الرموز ويولّد استقلاباً.

"هذا رائع،" قال ليو وهو يشير إلى الرسم التخطيطي الذي يُظهِر بركة ناسخي الذات البسطاء والمجموعات الذاتية الحفز الأكثر تعقيداً."فلنسمِّ هذه بالمستوى ٠ وهذه بالمستوى ١."

وبينما كان فونتانا يواصل شرحه، كانت السلاسل تتفاعل وفقاً لقوانين حساب اللامدا، أي فيزياء النظام. ولكن الشبكات التي نشأت، تصرفت وفقاً لقوانينها الخاصة من المستوى الأعلى. ويمكن، بشكل ثابت، متابعة ثلاث

دوائر في مربع ولكن لا شيء من هذا أبداً في مثلث. لقد نشأت القواعد grammar. وأوجدت الفيزياءُ كيمياءَ.

"هذا رائع،" قال ليو مرة أخرى.

وعلى غرار الأنظمة الذاتية الحفز عند كوفمان، وفارمر، وزملائهما، كانت تراكيب فونتانا الخيميائية قوية إلى حد بعيد: إذا أُزيلَت حفنة من الجزيئات من الشبكة، فإنها ستصلح نفسها، بتجديد مجموعة الدارات الكهربائية المفقودة. وعندما شرح فونتانا أنه يمكن أيضاً إرجاع كل من الاستقلابات إلى مجموعة لنثر البذور، أي مجموعة دنيا صغيرة ستتفاعل لتوليد الكل، بدا ليو بالكاد قادراً على كبح حماسه. وقال، "تعلم أن للبيولوجيين رأي بخصوص الأشياء القادرة على ترميز كل المعلومات الضرورية لدراسة التعضي، تسمى الجينات."

"لا،" قال وولتر، مطمئناً إلى بقائه داخل التجريد. "سنسميها مجموعات نثر البذور."

وأوضح أن المرحلة التالية هي توليد "حديقة حيوان كاملة من هذه التعضيات." بإدخال المزيد من المصافي، كتلك التي منعت نسخ الذات، يمكن للمرء أن يمنع بعض ترتيبات الدوائر والمربعات. وبالنتيجة، سينشأ استقلاب مختلف تماماً، بصفات مختلفة، أي بقوانين مختلفة. وبشكل ثابت، يمكن عن طريق تبديل المثلثات بمربعات. ويمكن اعتبار كل من هذه التراكيب كنوع مختلف من بدائي النواة.

"فظيع!" قال ليو. "دعنا ننتقل إلى المستوى التالي."

المستوى ٠ هو جزيئات ناسخة للذات. والمستوى ١ هو استقلابات معيلة للذات. ماذا لو استخدمنا النظام لتركيب تعضيين مختلفين من مستوى ١، وأتحنا لهما أن يمزجا مكوناتهما، لممارسة الجنس؟ لم تكن النتيجة أقل من نظام معيل للذات يحتوي على النظامين الأصليين اللذين اتحدا بواسطة مجموعة انبثقت حديثاً يسميها فونتانا "الغراء الاستقلابي."

"حسناً. هذا رائع،" قال ليو. "يبدو هذا كلاً كاملاً كسوي النواة."

لم يكن نمو سوي النواة الاصطناعي هذا متوقفاً على الحوادث الطارئة في تاريخ النظام. استطاع فونتانا، باستخدام مصافيه المنتظمة الترابط، أن يولِّد عدداً من الاستقلابات بقواعد مختلفة. ولكن عندما وحَّد اثنين منها، فإنهما اندمجا، بشكل ثابت تقريباً، في كل تعاوني. وعلى أية حال، بدا أن الهرمية، في عالم الخيمياء، تنبثق بصورة طبيعية.

"أردت أن أؤكد،" قال وولتر، "أن سمات التعضي هذه ستظهر بالضرورة مرة ثانية إذا أُدير الشريط مرتين، ليس فقط في هذا العالم ولكن في أية حياة." فالسلاسل، عندما تُمنَع من النسخ الذاتي البسيط، تولِّد استقلابات تتزاوج لتشكيل تعضيات.

ادَّعى ليو بأن لديه تحفظاً واحداً. أين كان الاصطفاء الطبيعي معنياً؟ إن كينونات التكاثر لنوع ما تتبدل وتُصطفَى وفقاً لمعيار الأصلح. ولكن لم تكن هناك منظومات تكاثر ذاتي في دورق وولتر الخيميائي، فلا تنافس دارويني بين استقلابات، أي لا شيء يمثل بقاء الأصلح. "وبالتالي، أين حصلنا على هوية تكاثر ذاتي، عندما كنا نولِّد هذه المتعضيات؟" سأل ليو. "ومتى انتقينا كينونة التكاثر الذاتي؟ نحن لم نفعل ذلك أبداً."

"ذلك صحيح،" أجاب وولتر.

"تقصد إنه، بوجود سمات التعضي الرئيسة للتطور، السمات الهامة، التحولات الأساسية، لن يكون هناك دور

ضروري للاصطفاء الدارويني."

"ذلك صحيح."

"طبعاً، البيولوجيون لن يستسيغوا ذلك إطلاقاً."

أومأ وولتر برأسه موافقاً. وصفق الجمهور، غير المستقر بسبب محطمي المعتقدات. لم يكن محتملاً أن يقنع العرض التكيفيين المتشبثين بأنه لا يمكن جمع مخلوق سوي النواة أو متعدد الخلايا بصورة تزايدية بواسطة التغير العشوائي والاصطفاء الطبيعي. أما بالنسبة لأولئك الذين يميلون إلى إعطاء دور مركزي أكبر للتعضي الذاتي، فكانت الخيمياء نجاحاً. لم يقترح هو وبَسّ أن التطور الدارويني لا علاقة له بتطور نظام بيولوجي. فعندما تشكل متعضٍّ، سواء كان بدائي النواة، أو سوي النواة، أو متعدد النوى، فإنه بدأ بالتكاثر وتشكل عن طرق آلية داروين. ودخل بقاء الأصلح إلى الحلبة. ولكن بمجيء الأصلح، انبثقت التعضيات نفسها، أي تكونت المستويات، لأسباب خاصة بها. فالهرميات لم تُفرَض من الخارج عن طريق تجربة التطور وخطئه، ولكن النظام نشأ من الداخل.

لو توفرت الفرصة لأفلاطون، لقال إن الحياة تنظم نفسها في هرميات لأن العالم المثالي، أي الهرمية، يوجد في عالم مستقل، هو عالم الأفكار. وكل الهرميات في العالم المادي هي تقديرات تقريبية لهذه الفكرة في عقل الآلهة. ولقال أرسطو إن فكرة الهرمية هي "علة نهائية،" متأصلة عند كل الأشياء الحية، وتجبرها على تنظيم نفسها في سلالم التعقيد المتزايد هذه. والهرميات، في خيمياء فونتانا، أرسطوية أكثر منها أفلاطونية؛ وهي لا تُفرَض من أعلى إلى أسفل، بل تصعد إلى السطح من أسفل. يمكن أن يكون العالم بحراً من العناصر العشوائية، ولكن مع القدرة على التركيب، أي أخذ عنصرين وتوحيدهما لصنع الثالث، والقدرة على التمييز عندما يتشابه اثنان من التركيبين، حيث تستطيع هرمية من التعضيات أن تؤهل نفسها إلى الوجود.

اثنان من أبطال فونتانا هما زميلاه الإيطاليان، جاليليو وأمبيرتو إيكو. قبل جاليليو، كان الناس ينظرون إلى السماء ويرون هذه الكرة البيضاء الفريدة التي سموها لُونا Luna، أي قمر "Moon"[١٤٥]؛ واعتبروه إلاهة. وبعدئذٍ تعلّم جاليليو من سحر العدسات وركّب تلسكوباً قوياً جداً أظهر أن المشتري أيضاً يمتلك أقماراً. وهكذا أصبح "القمر" صنفاً، واسماً بحرف استهلالي صغير moon، وفهمنا شيئاً أكثر عمومية، وأكثر شمولية عن الفضاء حولنا. ويقول فونتانا إنه يود لو يفعل الشيء نفسه مع الكيمياء. فالكيمياء التي تعلمها في الجامعة، أي كيف تتفاعل ذرات الجدول الدوري، هي كيمياء تبدأ بحرف C كبير Chemistry. ولكنه يعتقد أن هناك كيمياء عامة أكثر بحرف c استهلالي صغير chemistry التي تتضمن ليس فقط الكيمياء بحرف استهلالي كبير C نفسها ولكن كل المنظومات التي تعرض الصفتين التي يسميها تركيباً وتماثلاً: جزيئات تتفاعل مع جزيئات لتشكيل خلايا، وخلايا تتفاعل مع خلايا لتشكيل متعضيات، ومتعضيات تتفاعل مع متعضيات لتشكيل أنظمة بيئية وربما مجتمعات أيضاً. فكانت خيمياؤه محاولة لفصل الركام المفاهيمي وإنتاج منظومة أدنى تستوعب كل ما يعتقد أنه ميل كل هذه الظواهر إلى تشكيل تعضيات يمكن أن تتحد في هرميات. وفي لحظاته الأكثر شموخاً، يأمل بأن

---

[145] لاحظ الحرف الاستهلالي الكبير في الكلمتين Luna و Moon.المترجم-

الخيمياء يمكن أن تمتد إلى أبعد من متناول الكيمياء والبيولوجيا إلى نظرية عامة للتعضية، التي ستوضح كيف ينشأ النموذج من عشوائية، وكيف نحظى بمعنى في العالم.

من هنا يدخل أمبيرتو إيكو إلى القصة. وكان أستاذ علم العلامات والرموز، علم الإشارات. انتهينا إلى اعتبار الإشارات تجريدات ميتة، بطاقات تعريف خُصِّصَت اعتباطياً لأشياء في العالم. ولكن في القرون الوسطى، كما يُظهِر إيكو في روايته 'اسم الوردة'، كان يُظَن أن الإشارات ترن بالسحر. فبالتعويذة المناسبة، استطاع المرء أن يستحضر قوى الكون. وبوصفه خبير علامات ورموز، يحاول إيكو أن يستعيد بعضاً من هذا السحر إلى علم اللغة في القرن العشرين،[١٤٦] مظهِراً أن الإشارات ليست بطاقات تعريف فارغة–مجرد انعكاسات لما نعتبره واقعاً لا يرحم–إلى درجة أنها تشكل عالماً في حد ذاتها، نوعاً من فضاء إلكتروني تتخذ فيه حياة خاصة بها. فعندما نشتري سروال جينز أو قميصاً تائي الفتحة، فإننا ببساطة لا نشتري لباساً مفصلاً ومخاطاً بخيوط؛ بل نشتري رمزاً يمثل كامل عالم الرسائل التي نحاول نقلها. والمورد الطبيعي الرئيس لنيومكسيكو يمكن أن يكون شيئاً ما يسمى زيّ سنتافي، مظهراً يمكن أن يشتريه المرء في شكل حليٍّ فضية وفيروزية أو بيوتاً ذات أرضيات مبلطة بآجر سلتيلو، وسقوفاً مصنوعة من حور ڤيچاس، وملصقات آر. سي. چورمِن أو جورج أُوكيف على الجدران.

أو لنفكر بالإشارات التي ننظمها لتبادل الحديث. وهذه أيضاً يبدو أن لها ديناميتها الخاصة. ففي حفلة ما، يمكن أن نكتشف أننا نتبادل عبارات عادية مع عدم الاهتمام كثيراً بمعناها الأساسي: "بتهوڤن متفيهق جداً، وموزارت متروٍّ ورقيق جداً." والإشارات التي يطلقها متكلم ما تنتزع إشارات من متكلم آخر، وهو تفاعل متسلسل يتواصل حتى ينفد الشراب أو يبدأ التعب. وفي نهاية كتابه الجين الأناني، يطلق ريتشارد دوكينز اسم ميمات memes على نقود العالم الثقافي هذه. فأجسادنا وسائل نقل لنشر الجينات؛ وأدمغتنا وسائل نقل لنشر الميمات memes. وفي كلتا الحالتين، تتفاعل الإشارات مع الجينات وفقاً لمجموعة من القواعد. يمكن تقريباً أن نتأثر لما يعنيه ناقد أدبي طليعي عندما يُصِر على أنه ليس نحن الذين نتحدث اللغة ولكن اللغة هي التي تتحدث بواسطتنا.

وتماماً كما تؤثر المادة والطاقة كل منهما بالأخرى بواسطة قوانين الفيزياء، فإن الإشارات تؤثر بالإشارات–ربما بواسطة قوانين علم العلامات والرموز. والإشارات، بالنسبة لخبير العلامات والرموز، هي كالمادة والطاقة، ليست براعات بشرية ولكنها جزء متمم للعالم. ربما تكون هذه مجرد طريقة أخرى للقول إن المعلومات فيزيائية، أي مكوِّن ضروري لتجزئة الكون.

في لغة الحياة، تتفاعل الكلمات الجزيئية مع بعضها بعضاً، وتجتمع لتكوِّن جملاً، ومقاطع، ونصوصاً–هرمية الحياة. ومن السهل النظر إلى المجين، المكتوب برموزه A، وT، وG، وC، بوصفه نصاً. وتعبيره، أي معناه، هو الظاهرة الوراثية التي تنتجه. ولكن ماذا نقصد بكلمة "معنى"؟ في هذه النقطة، يواجه لغز التفسير، على حد سواء، كلاً من البيولوجيين وخبراء العلامات والرموز. ففي حل الراموز الوراثي، يطور العلماء مجموعة من القوانين، وهي نوع من القواعد أو تركيب الكلام، لتحديد كيف توضح الرموز A، وT، وG، وC الأحماض

[146] . ومن أجل ذوق أمبيرتو إيكو، Terry Eagleton لـ Literary Theory -من أجل الدخول إلى السجلات المنتشرة حول نظرية الأدب الحديث، جرِّب
جرِّب (إضافة إلى رواياته) مقالته "On Truth: A Fiction" في In The Limits of Interpretation .

الأمينية العشرين. ولكن لا شيء في الراموز الوراثي يقول كيف تتم الترجمة من البنية الوراثية إلى الظاهرة الوراثية–كيف نأخذ سلسلة من الرموز الوراثية ونتنبأ بطبيعة المتعضي الذي ينبثق إلى العالم. ولا يمكن حتى أن نتنبأ بشكل بروتين منفرد من راموزه الوراثي، لولا تسلسل أحماضه الأمينية.

في علم اللغة تعتبر هذه مشكلة في دلالات الألفاظ وتطورها. فكيف نفلت من تركيب الكلام–نتملص من الرموز العديمة المعنى–إلى تعبير ذي معنى؟ إن العلاقة بين تركيب الكلام وعلم دلالات الألفاظ وتطورها–ما يُكتَب على الصفحة وما يصبح مكتوباً في الدماغ–مراوغة إلى حد يدفع إلى الجنون. فالتبدلات الطفيفة يمكن أن تؤدي إلى نتائج كارثية لا يمكن التنبؤ بها، أو يمكن أن لا يكون لها تأثير إطلاقاً. ففي جملة ما، يمكن أن نبدل عشوائياً حرفاً وحيداً، بارتكاب خطأ مطبعي، ويبقى المعنى عادة سليماً. ولكن أحياناً يمكن أن يعتمد المعنى الكامل للجملة على حرف واحد. فعلى سبيل المثال، إن جملة your laughter is beautiful–ضحكتك جميلة، تصبح your daughter is beautiful–ابنتك جميلة، بعد أن بدلنا الحرف L في كلمة laughter بالحرف d. وواحد من أمثلة فونتانا المفضلة، The kids are flying planes–الأطفال يطيِّرون الطائرات، يصبح عندما نبدل الحرف في كلمة kids بحرف L هكذا، The lids are flying planes–الأجفان–أو الأغطية– تطيِّر الطائرات. فتبديل حرف واحد يبدل حالة كل كلمة أخرى نستخدمها.

إن الخطأ المطبعي، أي الطفرة، في سلسلة النكليوتيدات، لا يمارس على الأغلب تأثيراً يمكن تمييزه، ولكن يمكن أن يسبب طفرة مقيتة، أو يؤدي إلى تطور هندسة جديدة بالكامل. ونظرية التعضي التي يميل إليها فونتانا–الخيمياء الفائقة الرمزية–تسعى إلى فهم هذه العلاقة المحيرة بين تركيب الكلام وعلم دلالات الألفاظ وتطورها، لمعرفة كيف ينشأ المعنى الأدبي والبيولوجي في العالم. تتفاعل سلاسل الجزيئات لإنتاج متعضيات تتفاعل بدورها لإنتاج مجتمعات عن طريق توليد سلاسل الكلمات. فهل يمكن أن تكون اللغة ببساطة شكلاً آخر للغراء الاستقلابي للخيمياء؟

إذا كان يمكن اعتبار الحياة كنظام معقد من الرموز، عندئذٍ يصبح مغرياً قلب الطاولات والسؤال ما إذا كانت التراكيب التي تنشأ في محاكاة فونتانا حية بمعنى ما، أي أمثلة لما انتهينا إلى تسميته بالحياة الاصطناعية.[١٤٧] ومع أن صياغة هذا المصطلح تعزى غالباً إلى كريستوفر لانچتون، العالم في معهد سنتافي الذي ينظم مؤتمرات الحياة الاصطناعية التي تنعقد كل سنتين، فإن البعض يُرجعه إلى جون ڤون نيومان. فبعد مجيئه إلى نيومكسيكو للمساعدة في حل معادلة القنبلة الهدروجينية، طور ڤون نيومان وزميله في لوس ألاموس، ستانيسلو أولام، نوعاً من كلايدسكوب سمي الأوتوماتون الخلوي. وكما يعرف الكثير ممن يتابعون ثقافة العلم الشعبي، فإن الأوتوماتون الخلوي يتألف من شبكة من الخلايا التي تُفتَح وتُغلَق أو تغيِّر الألوان وفقاً لبضعة قوانين بسيطة. في الحالة الأكثر بساطة، يمكن أن تكون خلية إما بيضاء أو سوداء، مفتوحة أو مغلقة، ويمكن أن يقضي قانون نموذجي بأن تتحول خلية بيضاء إلى سوداء إذا كان أكثر من نصف جاراتها الأربع القريبات سوداوات، أو أن

---

[147] ، وفي محاضر مؤتمرات الحياة Steven Levy لـ Artificial Life نجد الحياة الاصطناعية، بما فيها عمل توم راي وآخرين كثر موثقة في Artificial Life III، و Artificial Life II، Artificial Life الاصطناعية التي حررها كريستوفر لانچتون وآخرون:

تتحول خلية سوداء إلى بيضاء إذا كانت جاراتها الأربع القطرية بيضاء. وهناك عدد مهم من الاختلافات حول طبيعة القوانين وعدد الألوان، أو الحالات التي تكون عليها كل خلية. وبالعرض على شاشة حاسوب بسرعة الضوء، يمكن أن تولِّد الأوتوماتونات نماذج معقدة إلى حد مدهش، بعضها قادر على الإبحار حول كونه المخطط بنموذج من المربعات وحتى على استنساخ نفسه. إن الدرس، الذي أخذته حركة الحياة الاصطناعية على محمل الجد، هو أن سلوكاً غنياً، وغالباً لا يمكن التنبؤ به، يمكن أن ينشأ من تفاعلات محلية بسيطة. فالحالة تذكر بما يجري في الاستقلاب: الجزيئات التي تتفاعل على نحو أعمى مع جاراتها تخلق نظاماً معقداً.

برهن ڤون نيومان[١٤٨] نفسه أنه كان يمكن لنموذج في أوتوماتون خلوي أن ينتج نفسه. ولفعل ذلك، يجب أن يتضمن مخططاً لنفسه، مجيناً مشفراً داخل المربعات الملونة للمنظومة الخلوية. وبالرجوع إلى هذه التراكيب، فإن النمط سيعمل على تنمية أذرع في المناطق غير المحتلة من بيئته ويعيد بناء نفسه قطعة قطعة، بما في ذلك راموزه الوراثي. ولكن ڤون نيومان لم يصنع فعلاً هذه الحيوانات المجردة-وفقاً لبرهانه، كان يجب أن يكون لديه أوتوماتون خلوي يتألف من حوالي ٢٠٠,٠٠٠ خلية يمكن أن تكون كل منها في تسع وعشرين حالة. وترك لعلماء الرياضيات المتأخرين وبرامج الحاسوب تصميم أوتوماتونات منتجة للذات أكثر بساطة. إن واحداً من متطلبات لانجتون المشهورة هو أنشوطة صغيرة من الخلايا، تُشكَّل على شكل حرف Q، يمكن أن تمد ذيلها إلى مناطق غير محتلة وتنسخ نفسها.

إن بعض الزائرين الذين يتبنون عقيدة أن الحياة عملية يمكن قشدها من ركيزتها الكربونية ونقلها لزرعها في عالم التجريد الصرف، وجاؤوا إلى مؤتمر الحياة الاصطناعية في سنتافي-المؤتمر الذي قدم فيه فونتانا وبَسّ عرضهما-شرحوا بوضوح الإيكولوجيات ecologies التي تتنافس فيها المخلوقات الرقمية على "الموارد": مساحة الذاكرة وزمن المعالجة. ففي محاكاة سميت تيرا Tierra، طورها إيكولوجي اسمه توم راي، حسَّنت متعضيات مكررة للذات نفسها من خلال طفرة عشوائية واصطفاء إلى أشكال أكثر فعالية. تمت إزاحة جد أعلى أصلي، يتألف من ثمانين سطراً في شيفرة الحاسوب، بواسطة نَسْخَة للذات أكثر بساطة تتألف من سبعين سطراً، ثم ثمانية وسبعين سطراً وسبعة وسبعين سطراً. فنمت، لأنها يمكن أن تعيش على "طاقة" أقل: يمكن أن تنسخ نفسها باستخدام دورات أقل للمعالج المركزي في الحاسوب. وبعدئذٍ، أفسحت هذه البرامج المجال حتى لنسخ أصغر، ولكن في مرحلة ما، حدث تغير عميق. حيث افترست المتعضياتِ طفيلياتٌ، وهي برامج مدمجة طورت، كالڤيروسات، القدرة على نسخ نفسها مستخدمة آلية نسخ مضيفيها. ولكن المضيفين عندئذٍ طوروا دفاعات ضد الطفيليات، وطورت الطفيليات دفاعات ضد الدفاعات. وتلى ذلك سباق أسلحة تطوري.

يأمل راي، عن طريق إطلاق برامجه الناسخة للذات إلى بيئة أكثر تعقيداً لا يمكن التنبؤ بها، تتكون من شبكة حواسيب ترتبط بنظام عالمي يسمى الانترنيت، أن يكوِّن حافظاً رقمياً للحياة البرية. وبدافع الحاجة إلى الغذاء، تهاجر المخلوقات-دورات حرة لزمن المعالجة-بحثاً عن حواسيب بطيئة، وتبقى دائماً في الجانب المظلم من الأرض. وما يأمل بتطوره هي وحوش من مخلوقات ذات خصوصيات مختلفة، يمكن أن تتحد لتشكل متعضياً متعدد الخلايا.

---

[148] ورد اقتراح ڤون نيومان في كتابه لعام ١٩٩٦ -Theory of Self-Replicating Automatea.

وخليقة راي، هل يمكن اعتبارها حية؟ في إنشاء منظومات كهذه، هناك دائماً خطر خلط الخريطة بالمنطقة، خطر الخلط خطأً بين شبكة المفاهيم التي ننشرها على العالم والعالم نفسه. فإذا كانت الحياة مجرد عملية–تنسيق البتّات–عندئذٍ يكون صعباً فهم لماذا لن تكون حية داخل الحاسوب التراكيبُ المعيلة للذات، أي المولّدة للذات. أو هل تكون هذه حالة التمدية، التي أصبحنا فيها مفتونين بمفهوم–معلومات–إلى درجة رفعناها فيها إلى منزلة شيء حقيقي؟ في مؤتمر الحياة الاصطناعية في سنتافي، حاول العالم النفساني ستيفن هارناد إثبات أنه من السخف خلط المخلوقات الاصطناعية بالمخلوقات البيولوجية. قال، لكي يكون المخلوق المحاكى حقيقياً، يجب أن يتفاعل مع البيئة، والمخلوقات المحاكاة لا تؤخذ بعين الاعتبار. وما أُدخِل في فاتورة بوصفه حياة اصطناعية يمكن أن يقلد بعض العمليات البيولوجية، ولكن ما لم يحتك بالواقع، فإنه لن يكون شيئاً سوى محاكاة. فرابوت بذكاء اصطناعي مبرمج في دماغه السليكوني والقدرة على إعالة نفسه عن طريق البحث عن الطاقة وتوليد نفسه بأشكال عشوائية مختلفة، آخذاً بعين الاعتبار التحسن التدريجي للنوع–الآن يمكن تسجيل هذه بوصفها حياة، يحتج هارناد–لأنها ستعيش فيما يزال يعتبر على نطاق واسع العالم الحقيقي.

المتحمسون للحياة الاصطناعية، وهم قلة قليلة، يجدون هذه الحجة مقنعة. فهم واثقون جداً من أن المعلومات أساسية، لا مجرد تجريد، إلى درجة أنهم لا يجدون صعوبة كبيرة في الاعتقاد بأن البيئة داخل الحاسوب حقيقية تماماً بالنسبة لمخلوقاتها القائمة على المعلومات كما هي بيئتنا بالنسبة لنا. لقد بنى هارناد الكثير من حججه ضد الحياة الاصطناعية على الحجج التي وجهها فيلسوف بيركلي جون سيرل[١٤٩] ضد الذكاء الاصطناعي. والفيلسوف سيرل معروف تماماً بين الفلاسفة وعلماء الحواسيب بسبب ملاحظات استفزازية كهذه: محاكاة عاصفة ممطرة لن تبلل أحداً؛ فلماذا، بحق السماء، يعتقد أي واحد بأن محاكاة الذكاء ستفكر حقاً؟ واليوم، يعتقد القائلون بالحياة الاصطناعية بأنهم يمتلكون الجواب: المخلوقات المحاكاة ستخبُر، في عالمها، حالات تُسجَّل بوصفها بللاً. كم نحن محدودو الأفق حتى نعتقد بأن كوننا هو الكون الوحيد الذي يؤخذ بعين الاعتبار.

كان عالم الرياضيات، كلود شانون، هو أول من اعتنق فكرة المعلومات لمساعدتنا على أن نفهم على نحو أفضل كيف تُرسَل الإشارات خلال الضجيج العشوائي لخط الهاتف. وأثبتت نظرية المعلومات أنها أداة قوية. وقد أتاح لنا التفكير بلغة البتّات تطوير حقل علم الحاسوب، الذي نتعلم فيه كيف نمثل العالم بأنماط معلومات. إن محاولاتنا ناجحة جداً إلى درجة أن بعض الفيزيائيين وعلماء الحاسوب يعتقدون بأن المعلومات ربما لا تكون ابتكاراً بشرياً، بل شيئاً ما حقيقياً، فيزيائياً، كالمادة والطاقة. واليوم، انتهت حفنة من الباحثين إلى الاعتقاد بأن المعلومات يمكن أن تكون حقيقية أكثر من كل شيء. وتمضي الحجة لتقول إن المخلوقات المحاكاة لا تملك وسيلة لكي تعرف أنها محاكيات. وبهذا الخصوص، كيف نعرف بأننا أنفسنا لسنا محاكيات، منضدين على حاسوب في كون آخر؟

يبدو أن الطبيعة حسَّنتنا إلى أَكَلَة معلومات شرهة جداً إلى درجة أن البعض يمكن أن يقنعوا أنفسهم بأن لا شيء هناك سوى المعلومات. وقد رفض صموئيل جونسون رؤى أسقف بيركلي الأنانوية[١٥٠] للواقع عن طريق

---

[149] -وردت أفكار جون سيرل حديثاً جداً في كتابه The Rediscovery of the Mind.

[150] -نسبة إلى solipsism: الأنانة، أي القول إنه لا وجود لشيء غير الأنا-المترجم.

رفس حجر. بالكاد كان جونسون يعرف أنه يمكن أن يكون هو نفسه مجرد معلومات، "يرفس" تركيبة معلومات تسمى حجراً، وهي عمليات "شعور" يشار إليها بوصفها قسوة وألماً.

الفصل التاسع

في البحث عن التعقيد

إن المعلم الأكثر بروزاً الذي يظهر في الأفق الشرقي من نواحي كثيرة في سنتافي، هو التل السفحي المنقط بأشجار البَنيون[151] والعرعر. يسمى هذا التل تالايا، ويبدو بجوانبه الحادة الانحدار وقمته الضيقة المدورة متناسقاً جداً ومنحوتاً بدقة، حتى أنه يبدو أحياناً عملاً مدروساً ليد ذكية أكثر منه وِضْعَة اتفاقية لقوى بيولوجية. وحينما ينبثق نمط، سواء كان مدروساً أو عرضياً، من مجال عشوائي مختلف، فإن العقل يَرْتَجُّ بحاسة تمييز ودفع إلى التفسير. فيقول عالم اقتصادي يزور معهد سنتافي بانتظام، إنه عندما رأى تالايا لأول مرة خالجه شعور بأنه مكان مقدس-يذكر أن هناك قوى ومعانٍ تقع خارج الإدراك البشري. وكان قد بدأ مؤخراً بتحري الديانات الشرقية وتوصل إلى الاعتقاد بقوى أكثر غموضاً حتى من "اليد الخفية" لآدم سميث، بمقدرتها على تقسيم السلع والخدمات وفقاً لقوانين العرض والطلب. وعلى قمة التل، غرس زائر آخر، ربما كان يحمل أفكاراً مماثلة، قضيباً ملفوفاً بسلك ملون، هوائياً روحياً لديانة ما مجهولة، ربما ابتدعها هو نفسه.

إن كتب التاريخ لا توضح كيف حصل تالايا على اسمه. وإلى الجنوب من هذا التل، لناحية جامعة سانت جون، تلوح قمة أتالايا الأكثر ارتفاعاً إنما الأقل لفتاً للنظر، وقد سميت بهذا الاسم تبعاً للكلمة الاسبانية التي تعني برج المراقبة. والتحول الذي غيَّر "أتالايا" إلى "تالايا،" ربما كان عرضياً، مع أن سيث لُويْد، الفيزيائي في معهد سنتافي، يرى أن التقدم استمر، حيث أن الارتفاع الأصغر قبالة تالايا، الذي يسميه السكان المحليون تل أيوداكا، سيُعرف، بدلاً من ذلك، باسم ألايا، والتل الذي يقع قبالته باسم تل لايا، وهكذا حتى استنزفت ذخيرة الحروف.

ومع أن كل واحد تقريباً يزور سنتافي يرى من بعيد تالايا الذي يرقط الأفق، فإن القليل جداً منهم وصل إلى القمة. ليس هناك درب محدد بصورة جيدة، ولهذا يترتب على المتنزهين سيراً على الأقدام أن يرتجلوا. يقود المرء السيارة شرقاً على كانيون رود، الذي يؤدي من بلدة پلازا إلى الجبال، ويتتبعه إلى نهاية غير نافذة عند راندال ديڤيس أدوبون سنتر، وهي منطقة حياة برية صغيرة محظورة. هناك يمكن أن يوقف سيارته ويسير على قدميه صعوداً في أحد الوديان أو التلال الجانبية التي تقود نحو قمة تالايا. والمشكلة هي أن المرء لا يستطيع دائماً أن يرى تالايا من هذا العمق البعيد-هناك الكثير جداً من التلال المتدخلة- وهكذا يمكن أن يضل طريقه، متبعاً وادياً لمسافة ميل أو نحوه إلى أعلى التل فقط ليكتشف أنه فقد الهدف تماماً، وأن تالايا يرتفع وراءه مكايداً ويصعب الوصول إليه. أو يمكن أن يتسلق المرء ببطء جانب ما يجب بالتأكيد أن يكون تالايا فقط ليصل إلى ذروة ويكتشف أنها مجرد تل سفحي، مع واد عميق يفصله عن تل آخر بعده. فهل يجدر به أن يهبط إلى الوادي ثم يتسلق التل التالي، على أمل أن يضعه على مرأى من تالايا؟ أم أنه من الأفضل أن يعود أدراجه وينطلق من جديد؟ من يدري؟ فالتل التالي يمكن أن يكون حتى أبعد من الهدف.

---

[151] - نوع من الصنوبر يكثر في غربي أمريكا الشمالية-المترجم.

إن محاولة الوصول إلى أعلى نقطة من المشهد دون خريطة أو موصلة تشبه ما يسميه علماء الرياضيات تسلق التلال، وهي طريقة يستخدمونها لاستكشاف التضاريس الرياضية الخيالية. يمكن بيانياً رسم معادلة بمتغيرين، x وy، كخط منحنٍ، مع ذروتين وواديين بُعْدِيَّيْن. وعوضاً عن كل نقطة على الخط، تمثل الإحداثيات قيم المتغيرات. ونحصل، عوضاً عن $y = x$، على خط مستقيم قطري. وعوضاً عن $y = x^2$، نحصل على قطع مكافئ. وعوضاً عن $y = \sin(x)$، نحصل على موجة متموجة. ومعادلة بثلاثة متغيرات تعطي سطحاً–استكمال ثلاثي الأبعاد لخط منحنٍ–يمكن أن يبدو شبيهاً جداً بخريطة مجسمة للتلال السفحية في سنتافي. وكل نقطة على المشهد يمكن أن تترافق بقيم مختلفة لثلاثة متغيرات، x، وy، وz، لتعطي خط طول، وخط عرض، وخط ارتفاع. أما المعادلات بمتغيرات أكثر، فلا يمكن تخيلها مباشرة، ولكن علماء الرياضيات يعتبرونها كوصف لمشاهد متعددة الأبعاد، بذرىً ووديان بأربعة، خمسة، ستة، مئة–أبعاد كثيرة بقدر ما نشاء. وفي تسلق التلال، يريد المرء أن يجد مجموعة من الأعداد التي، عندما تُحشَر في معادلة، ستولِّد الدخل الأعلى، الذي سيحمله إلى أعلى نقطة (أو نقاط) على المشهد. والمشكلة الثابتة هي أن يخدع المرء نفسه بالظن أنه وصل إلى القمة، في حين يكون، مع الأسف، عالقاً على التل الأدنى–ما يُعرَف في التجارة بوصفه الحد الأعلى المحلي.

أو لنعتبر، إذا بدلنا الاستعارة، متغيرات المعادلة كمسكات على صندوق أسود مثبت إلى عداد. عندئذٍ يكون اكتشاف الحل الأعلى مكافئاً للعبث بالأقراص المدرَّجة حتى اكتشاف مجموعة الوضعيات التي تسبب ارتفاع الإبرة على العداد إلى أعلى نقطة. وحتى إذا كانت الوضعيات قليلة، فإن عدد الوضعيات الممكنة تصبح فلكية، ويمكن أن تحمل المرء على الشعور كأنه يسعى إلى فتح خزنة بتجريب كل توافقية ممكنة. ولنفترض أننا نحاول إيجاد الحل الأعلى لمعادلة سداسية الأبعاد. فعندما نثبت خمسة متغيرات، u، وv، وw، وy، الثابت، نقوم ببطء بزيادة z ونراقب الإبرة تتسلق في وقت واحد إلى أعلى. وعند نقطة ما، نزيد z إضافة أخرى وتبدأ الإبرة تتراجع في الطريق الأخرى. ونصل إلى نوع ما من حد أعلى، ولكن هل يكون تلاً سفحياً أو قمة؟ وإذا ثابرنا على زيادة z، فهل سيرتفع الحل أخيراً من جديد، عابراً وادياً ومتسلقاً ذروة أخرى؟ وإذا حصل ذلك، فهل سنكون في طريقنا إلى القمة أم أننا نبدد وقتنا في تسلق تل سفحي آخر؟ ربما يتوجب علينا أن نضيف y بدلاً من z، ونتبع خطاً حافِّياً على امتداد بعدٍ مختلف، أو نعيد تعديل u وv ونبدأ التسلق من نقطة مختلفة تماماً على المشهد. يبدو كأن المرء أعمى ويجب أن يتلمس طريقه إلى تالايا، ويتحسس بأصابعه لكي يعرف ما إذا كان المنحدر صاعداً أو نازلاً. والاستراتيجية الأكثر بساطة في حالة كهذه هي سلوك طريق يحمله إلى نقطة أعلى من النقطة التي كان فيها. ولكن أكثر احتمالاً من بقائه عند حد أقصى محلي، مفصولاً بهوة عن هدف لا يستطيع رؤيته.

اكتشف علماء الرياضيات أن الطريقة الوحيدة لتفادي التوقف عل تل سفحي تكون بحقن ضجيج إلى نظام. وفي استكشافاتنا، لنعبث عشوائياً، بين حين وآخر، ببضع مسكات، وَلْنُلْقِ زهر النرد أو عصيَّ أم الألف ورقة، واعتماداً على طريقة سقوطها، ننطلق في اتجاه جديد، حتى لو تراءى أنه يؤدي إلى تل سفحي. ومع أن هناك خطراً يتمثل في أن هذه التغيرات العشوائية يمكن أن تقودنا بعيداً عن الطريق في حين نكون على بعد إنشات من المكان المقصود، إلا أنه يمكن أيضاً أن تصدنا عن الحدود العليا المحلية، لتدفعنا برفق نحو طريق غير مباشرة يمكن أن تحملنا إلى القمة.

في الواقع، هذه هي "الاستراتيجية" التي سيقول معظم البيولوجيين إنها تستخدم لاستكشاف الأخطار والفرص التي فتحها التطور الدارويني. هنا يمكن اعتبار إحداثيات كل نقطة على المشهد التخيلي كمجموعة مختلفة من السمات الوراثية. فلنفترض أن لدينا مخلوقاً متخيلاً بمجين يتألف من مئة جين ليس إلا، وكل منها يرمِّز صفة مختلفة. هذا المخلوق سيتطور على مشهد أصلح ذي مئة بعد. يمكن اعتبار كل جين كمسكة يمكن تعديلها إلى أوضاع مختلفة. ويمكن أن تضبط مسكةٌ واحدة طول ساقي المخلوق، وأخرى تضبط عدد الفقرات في عموده الفقري. أو يمكن أن نتخيل بارامترات أكثر دقة: تعالج سرعة الدماغ وطاقة ذاكرته. واعتماداً على الأطر الوراثية التي وُلِد فيها هذا المخلوق، فإنه سيحتل نقطة محددة على المشهد. وبسبب الاختلاف العشوائي، أي العبث بالأقراص المدرجة الوراثية، فإن ذريته ستمتلك إحداثيات وراثية مختلفة قليلاً، تحتل نقاطاً مجاورة. إن طفرات مؤاتية تدفع ذرية ما إلى الجثوم في نقطة أعلى قليلاً على المشهد، بينما تدفعها طفرات غير مؤاتية إلى الجثوم في مكان أدنى قليلاً. وهكذا فإن الوصول إلى قمة تالايا يضاهي إحراز حالة الصلاحية القصوى، أي التلاؤم الأفضل مع البيئة، النقطة الأعلى على الأرض.

إذا مثَّلنا مخلوقات بنقاط على المشهد، فإن نوعاً–مجتمعاً من مخلوقات ذات مجينات متماثلة– سيكون سحابة متراصة بقوة. وجيلاً بعد جيل، تبدل سحابة المخلوقات شكلها، جارية عبر هضاب المشهد ووديانه، مدفوعة بمحرك طفرة عشوائية. لا مجال طبعاً إلى الارتفاع فوق المشهد ورؤيته كاملاً. وهكذا يستكشف النوع الأرض غير المرئية عن طريق العبث عشوائياً بالأقراص المدرجة–مرسلاً مجسات لاستشعار أرض أعلى. وبما أن طفرات مؤاتية تزيد احتمال أن يبقى مخلوق على قيد الحياة، ويجذب شريكاً، ويتكاثر، فإنها تميل إلى الانتشار خلال المجتمع، ساحبة الغيمة قليلاً إلى أعلى. ويتم التخلص من الطفرات غير المؤاتية عن طريق مرشِّحة الاصطفاء الطبيعي. وهكذا يكون هناك، بالنسبة للسحابة ككل، زيادة عادية في الصلاحية، سحباً عنيداً بطيئاً إلى أعلى، نحو قمم التلال والذرى.

في هذه الترجمة المبسطة للرؤية الكلاسيكية للتطور الدارويني، ينشأ النظام من الفوضى من خلال مرشِّحة الاصطفاء الطبيعي. ومع ذلك، فإن عملية التطور نفسها عديمة الاتجاه وعمياء. وعلى المدى الطويل، سيميل النوع إلى الزيادة في الصلاحية، ويصبح أكثر تكيفاً مع بيئته. ولكن مع الكثير جداً من الضجيج في النظام، فإنه لا توجد طريقة للتنبؤ بالجزء من الأرض الذي سيكتشفه.

تتعقد مشكلة التنبؤ بحقيقة أن بيئة النوع تتضمن ليس فقط بيئاتها الفيزيائية المحيطة بل المخلوقات الأخرى التي يجب أن تعيش وسطها. فعندما يطور نوع واحد أجنحة، فإن نوعاً آخر يمكن أن يصبح فجأة فريسته. ويتشوه مشهده كأنما بضربة زلزال؛ فتنهار ذروة صلاحيته ويهبط إلى جزء أدنى من الأرض. ومن الجهة الأخرى، ستعمل سلسلة من الطفرات العشوائية التي تدفع النوع إلى التموه ضد بيئاته على زيادة صلاحيته الخاصة في حين تقوم بحتِّ ذروة الصلاحية التي يحتلها مفترس مجنح. ولكن حينئذٍ يمكن أن "يستجيب" هذا النوع (من خلال عمى طفرة غير موجهة) بتطوير عيون أكثر حدة.

في نظام بيئي، تقترن آلاف من هذه المشاهد الكثيرة الأبعاد، مشهد لكل نوع، مع بعضها بعضاً كأنما بواسطة نسيج من خيوط غير مرئية. إن طفرة بالغة الصغر تسبب تغييراً في نوع واحد ترن في كل أنحاء النظام، مسببة

شلالاً من تأثيرات لا يمكن التنبؤ بها. وكل واحدة من هذه التأثيرات يطلق شلالات إضافية، التي تطلق أيضاً المزيد. وتتسطح الذرى، دافعة قاطنيها إلى التغير جذرياً، أو تنقرض. وتتكون بيئات جديدة، تسمح بنشوء نوع جديد. نوع يذكر بمعادلات مشوشة، تؤدي فيها التغيرات الضئيلة إلى سلوك وحشي مختلف. فإذا أعدنا لف الشريط، كما يقترح ستيفن جاي جولد في كتابه 'حياة مدهشة'، فسيكون هناك مبرر بسيط للاعتقاد بأن أي شيء مثلنا أو المخلوقات التي نراها حولنا ستنشأ مرة أخرى.

إذا أمكن لف التطور والبدء من جديد، فإنه يمكن أن نتنبأ بأن حياة ستتشكل وسيعمل الاصطفاء الطبيعي، في المعدل، على دفع النوع إلى ذرى صلاحية أعلى. ولكن إذا لعب الحظ الأبكم دوراً قوياً جداً،، فإن الكثير من التفاصيل ستروغ من قدرة تخميننا. قد تكون الأرض معمورة بمخلوقات تقع خارج نطاق تصورنا. وربما تمنح القدرةُ على جمع المعلومات أفضلية قوية للبقاء إلى درجة أن أغرب المخلوقات ستتمتع بنوع ما من الذكاء. أو ربما تمتلك دماغاً، أو مكافئاً ما، يكون عرضياً وطارئاً كامتلاك إبهام. وإذا أعطي فرصة أخرى، فإنه يمكن أن لا يكون هناك أي شيء على الكوكب بمثل موهبتنا وإرغامنا على تقسيم العالم إلى أصناف، أي على البحث عن الأنماط وسط الدوامة.

إن هذه الرؤية للتطور الدارويني تشبه، إلى حد بعيد، النظرية الكلاسيكية للمشي العشوائي للبورصة، التي تكون فيها متابعة المستثمر اليومية لتقلبات الأسهم أساسية لتلقي سلسلة عشوائية من الأرقام. فإذا وضع المرء كل ماله في نوع واحد من الأسهم، فإنه يكون كمن يلعب البينجو في تيسوك. ولكن في اقتصاد اتساعي، سيميل السوق في المعدل إلى الارتفاع، وهكذا يمكن أن تتاح للمرء، عن طريق تنويع الاستثمارات، فرصة لتحقيق الربح. وبصورة مماثلة، إن كل طفرة لنوع واحد تكون عشوائية ولا يمكن التنبؤ بها، ولكن، في المعدل، ستصبح المخلوقات في الغلاف الحيوي صالحة أكثر فأكثر. وإذا وضعنا كل رهاناتنا على نوع واحد، فإننا ربما نخسر حتى قميصنا. وإذا نشرنا رهاناتنا عبر نباتات المنطقة وحيواناتها، عندئذٍ يحتمل أن ننجح.

إن نظرية داروين الرائعة، بالنسبة لمعظم البيولوجيين، تكفي لتفسير النظام والتعقيد المذهلين في العالم البيولوجي. ولكن البعض من المعجبين بداروين يشعرون بشيء من عدم الرضا عن إمكانية أن تقع الحياة التي نعرفها عند نهاية سلسلة طويلة من الاحتمالات–إلى حد أن دوراً مختلفاً لزهر النرد الدارويني، في أي مكان على امتداد الطريق، يمكن أن يعني لا داروين، لا نظرية اصطفاء طبيعي، لا علم إطلاقاً.

يعزينا إلى حد ما الاعتقاد بأن نوعاً ما من الحياة يحتمل أن يكون قد نشأ، أي أن قوانين التوافقيات يمكن أن تكون قد دفعت منظومة جزيئات ذاتية الحفز للانبثاق دون جهد من عشوائية البحار الأولية. وإذا كان فونتانا وبَسّ على صواب، فربما كان من الطبيعي جداً أن تعمل هذه الأنسجة الاستقلابية على تكديس نفسها إلى هرميات الحياة. ولكن هل يستطيع النظام أن يعمل أيضاً في نطاق أعمق؟ يقبل بعض البيولوجيين، الذين اتخذوا من معهد سنتافي مقر قيادة غير رسمي لهم، بإمكانية ألا تكون استكشافات التطور عمياء جداً، أي أنها مدفوعة بقوانين التعقيد. وفي النقاش حول ما إذا كان الاصطفاء الطبيعي أو التنظيم الذاتي مسؤولاً إلى حد بعيد عن نحت الغلاف الحيوي، وهم أيضاً يساندون بقوة التنظيم الذاتي. فيقولون نحن، مكتشفو الأنماط، لم ننشأ عن طريق الصدفة، ولكن لأننا مسجلين بطريقة ما في قوانين الطبيعة.

وتماماً كما يعتقد بعض العلماء، كالعلماء في بريدكشن كومباني، بأن شيئاً من عشوائية البورصة يمكن أن يتألف من فوضى حتمية، إشارة ضعيفة محجوبة وسط الضجيج، فإن هؤلاء البيولوجيين يعتقدون بأنه يمكن أن يكتشفوا أنماطاً دقيقة ضمن العشوائية الظاهرية للتطور–جواذب توجهها في اتجاهات معينة، تشجعها على سلوك بعض الطرق في حين تتفادى طرقاً أخرى. فإذا ضللنا سبيلنا ليلاً في الجبال، فإنه يمكن أن نبدأ بإجراء عشوائي لتسلق هضبة، مندفعين بقوة بهذه الطريق وتلك، متلمسين طريقنا في الظلام. ولكن نكتشف أخيراً أضواء بعيدة، أو نجد جدولاً ونتبعه إلى الحضارة. ولنفترض أن هضاب وذرى مشاهد الصلاحية كانت، بطريقة ما، معلَّمة بمنارات، كالهوائي الملون في أعلى تالايا، ترسل إشارات غريبة، جاذبة المخلوقات إليها. وعندما يكون نوع قريباً من الذروة التي تمثل تطور أجنحة أو أعين أو أعمدة فقرية، فإنه يمكن أن يُسحَب بعناد صعوداً إليها، كماشٍ يستطلع تالايا عبر وادٍ ضيق. نعيد لف الشريط مرات كثيرةٍ بقدر ما نشاء، وسيكون العالم مختلفاً في التفصيل، ولكن مألوفاً إلى حد غريب، مع أشكال الحياة العامة نفسها التي تتفجر مراراً. وهناك نلاحظ فيه كل ما يمكن أن يكون فقاريات بأزواج من الأذرع والقوائم والأدمغة معقداً بما يكفي للعجب ونحاول أن نفهمه كله. وسيكون الكون ملزماً بتوليد ليس الحياة فقط، بل الحياة كما نعرفها.

في الواقع، يبدو أن هذا هو ما يصدقه أكثرنا بصورة غريزية. وفولكلورنا المعاصر متخم بفكرة أن التطور يُجذَب بطريقة ما في اتجاه خلق مخلوقات تشبهنا كثيراً. فعلى الرغم من الزخرفات الغريبة، فإن مجموعة الكائنات التي تجلس حول الحانة في فيلم جورج لوكاس *حروب النجوم* تميل إلى أن تكون متشابهة ثنائياً، فهي بذراعين، وساقين، ورأس مزود بدماغ وعينين. وفي التجسيدات المختلفة للمسلسل التلفزيوني *رحلة النجوم*، يضمن وعي ما لعمل كوني إيجابي جزءاً عرضياً لمخلوقات لا تلائم القالب–يواجه أحدهم سُدُماً ذكية، وما شابه. ولكن رحلة إلى الارتفاعات الأكثر بعداً من الكون تكشف عادة مخلوقات بأشكال مختلفة لتصميم الجسم الشبيه بالجسم البشري، لكنها أصغر. حاول الحدث الأخير في المسلسل أن يدحض بالحجة هذا التحامل التجسيدي بافتراض وجود حضارة قديمة بذرت الكواكب في كل نواحي الكون بـ دنا متماثل. ولكن يصعب الخلاص من فكرة أن هناك شيئاً ما حتمياً بخصوص الوضع الذي نحن عليه.

إذا تجولنا في متحف جيد للتاريخ الطبيعي، فإننا نرى هياكل طيور، وزواحف، وبرمائيات، وثدييات محتبلة في صناديق زجاجية، ولكن تشبه بعضها بعضاً، وتشبه هيكل ملك الديناصورات الذي يرتفع إلى أعلى من أرض الردهة المركزية. ومن الواضح تماماً أنها كلها أشكال مختلفة في الموضوع. فهل سيكون كل هذا، في الواقع، مختلفاً تماماً إذا دورنا الشريط من جديد؟ وهل ستكون هناك تشابهات مختلفة كلياً تبعث على الدهشة، على الرغم من بعد احتمال أن يكون هناك شيء اسمه دهشة؟

قبل داروين، بحثت مدرسة البيولوجيين الذين نسميهم المورفولوجيين العقلانيين عن قوانين رياضية–نوع من جدول دوري للحياة النباتية والحيوانية–تفسر لماذا يتراءى أن الطبيعة تولِّد البُنى نفسها مراراً. وكان الاعتبار السائد هو أنه لا بد من أن تكون الأنواع أصنافاً طبيعية، محكومة بقوانين خفية للطبيعة. وفي عام ١٨١٧، عمد عالم التصنيف الفرنسي، جورج سوفييه،[١٥٢] إلى تقسيم الحياة إلى أربعة أصناف، كل منها يقوم على أساس ما

---

[152] نجد مشروع تصنيف سوفييه في الفصل ٣١ من A History of the Scienes.

اعتبره تصميماً أساسياً للجسم–الفقاريات (تتضمن الثدييات، والطيور، والزواحف، والأسماك)، والمفصِليات (تتضمن الحيوانات المفصلة كالسرطانات، والعناكب، والحشرات)، والشعاعية (بما فيها حيوانات كقنديل البحر، الذي يتمتع بتماثل شعاعي بدلاً من ثنائي). كان جناح طائر مماثلاً لقائمة عظاءة، لا كما سيقول داروين فيما بعد، لأنه يمكن تتبع أثر كليهما رجوعاً إلى جد مشترك، ولكن لأنهما وُلِدا مستقلين حسب المبادئ نفسها، فإنهما كانا انعكاسين للتشابهات المنقوشة عميقاً في ركيزة القانون الطبيعي.

وبعدئذٍ جاء داروين وحرف الكلايدسكوب. فكانت التناسقات كلها عرضية، وليست انعكاساً لقوانين الشكل بل لتصميم أقدم للجسم تشوه مراراً بتغير عشوائي، ترشَّح عن طريق الاصطفاء الطبيعي. وفكرة أن المتعضيات كان يجب أن تكون كما هي، وكأنها ملزمة بملء مربعات الجداول التصنيفية، سرعان ما اعتُبِرَت قصر نظر وتضليلاً كالقول بمركزية الأرض. فلماذا يجب أن نتوقع أن التطور كان يكافح لإنتاجنا والمخلوقات من حولنا؟ إن الاعتقاد بأن أي شيء غير الاصطفاء الطبيعي وجَّه التطور يجب أن يُدان باعتباره مغالطة غائية، فكرة أن ثمرة البلوط تكافح لإنتاج شجرة البلوط، أي أن الغاية بطريقة ما تسبب الواسطة.

إن الداروينية قوية جداً في قدرتها على تنظيم الحقائق المنعزلة للبيولوجيا في كل مترابط إلى حد أن بعض العلماء وجدوا مبرراً لمقاومتها. ولكن المرء لا يحتاج إلى أن يكون مسيحياً أصولياً لكي يدرك معنى الكفر في فكرة أن شيئاً ما معقداً كالإنسان هو نتيجة لمصادفات تمتد بلايين السنين في ماضٍ دخاني، وأنه لو لم يسبب شعاع كوني طفرة نقاط عند واحد من أجدادنا التطوريين، لما أمكن إطلاقاً أن نكون هنا نحن وكل اختراعاتنا– مبانينا الرائعة وأمكنتنا الخيالية.

في الواقع، لم يمت المورفولوجيون العقلانيون أبداً؛ بل نزلوا تحت الأرض، لكي يظهروا في القرن العشرين بشكل أكثر تعقيداً. وإذا اعتمدنا على عمل البيولوجيين النظريين مثل سي إتش وادنچتون وداركي ثومبسون، فإن هؤلاء البنيويين[١٥٣] المعروفين يجادلون في أن التطور لم يصغه الإله أو كفاحات غائية غامضة، بل رياضيات أنظمة معقدة. وإذا قضى أحدنا وقتاً كافياً هنا وهناك في معهد سنتافي، فإنه من غير المألوف أن يجد بيولوجيين ينظرون إلى الداروينية الصارمة كما ينظر الكثير من العلماء النفسانيين إلى الفرويدية الصارمة: علم أقل منها آيديولوجيا. وفي مؤتمر حول قوانين التعقيد رعاه المعهد في صيف ١٩٩٢، أعلن بيولوجي بريطاني اسمه بريان چودوين بصراحة أن الاصطفاء الطبيعي ليس مسؤولاً بصورة أساسية عن النظام الذي نراه في العالم البيولوجي.

إن نظرية التطور، كنظريات الكوزمولوجيا، لا يمكن اختبارها بتجربة حاكمة. وليس هناك طريقة، إلا في خيالاتنا وحواسيبنا، لإعادة لف الشريط وعزفه من جديد. يواجهنا عالم كامل الصنع، وعلينا أن نعمل رجوعاً، لإكمال قصة كيف وُجِد. إن أدمغتنا التي تصوغ سلاسلة طويلة للتفسير مجزَّعة بهذه الغريزة لربط السبب والنتيجة–البرق يعقب الرعد. والقصص التي ننسجها يمكن أن تكون معقولة إلى حد فائق، ولكن كيف نعرف ما إذا كانت صحيحة؟

في كتابه ما وراء الاصطفاء الطبيعي، جمع روبرت وِسون[١٥٤] عدداً من هذه الحكايات. في التُّندرَة الألبية

---

[153] اثنان من الكتب الأكثر تأثيراً حول البنيوية البيولوجية هما: On Growth and Form لـ D'Arcy Thompson، و The Strategy of the Genes لـ C. H. Waddington .

[154] نجد القصص الداروينية لـ Robet Wesson في ص ١٧ من كتابه Beyond Natural Selection .

وراء النطاق الشجري، وفي جبال سانچر دو كريستوس وفي كل مكان في الغرب، تتعلق حيوانات المرموط ببعضها بعضاً في مجموعات لأن الطعام، كما قيل لنا، نادر جداً؛ والتطور يدعم التقارب والتعاون. ولكن، كما يبيِّن وِسون، إذا حدث، بدلاً من ذلك، وعاش المرموط في عزلة كعزلة الناسكين، فإنه يمكن أن نحتج منطقياً بأن التطور أيد الحيوانات التي تنتشر طولاً وعرضاً لكي تطوف بحثاً عن الغذاء. وفي نوع واحد من الطيور، يقال إن الذكور الكبيرة الحلق تطورت لأن إناثها تفضل الشركاء الأفضل تجهيزاً لجمع الطعام لصغارها. ومع ذلك، يقال إن الإناث في نوع آخر من الطيور تفضل الشركاء الذين يتجاهلون صغارها، لأنها أقل ميلاً إلى جذب المفترسات إلى العش.

إن التكيفيين، كالكوزمولوجيين، يبحثون عن نبوءات يمكن استخدامها لاختبار سيناريوهاتهم. فعلى سبيل المثال، يمكن للمرء أن يدرس أنواعاً ثانوية مختلفة من المرموط لمعرفة ما إذا كانت هناك علاقة بين ندرة الغذاء والتجمع. ولكن بالنسبة للبنيويين، الذين يبحثون غريزياً عن ينابيع لنظام خفي، فإن حكايات التكيفيين هنا وهناك مقنعة كسفر التكوين، أو أسطورة خلق التيوا، أو كتاب جَسْت سو ستوريز كپلنچ-أو التفسير بعد الصباحي لارتفاع أو هبوط المعدل الصناعي في داو جونز.

نقرأ على الصفحة الأولى أن الدولار وصل منخفضاً جديداً مقابل الينّ الياباني؛ وإذا انتقلنا إلى جزء الأعمال، فسنجد البورصة قد انخفضت. ويمكن أن يكون التفسير الذي نقدمه كما يلي: ينٌّ أغلى ثمناً سيجعل الواردات اليابانية أكثر كلفة، وهذا يدعم التضخم النقدي ويغري مجلس الاحتياطي الفيدرالي برفع أسعار الفائدة، مما يخنق الاقتصاد الأمريكي. ولكن يمكن أن يبحث المرء عن أعداد سابقة من الصحيفة ويجد حالات هبط فيها الدولار إلى منخفض تاريخي مقابل الين، ومع ذلك ارتفعت فيها البورصة. فما الأساس المنطقي؟ عندما تكون الواردات اليابانية أعلى ثمناً، تعطي الشركات الأمريكية حافة تنافسية، وعندما يكون الدولار أرخص ثمناً، يجتذب السائحين من الشرق. وبجهد بسيط نستطيع أن نركِّب قصة منطقية. في عام ١٩٩٣، بعد الوصول إلى منخفضات عشرين سنة، وعندما بدأت معدلات رهن البيوت تزحف صعوداً لأول مرة، نُسِبَت المسؤولية إلى عدد من العوامل، بما فيها ارتفاع أسعار الذهب (إشارة مخاوف التضخم) ومرة أخرى، الهبوط الشديد للدولار مقابل الين. وبعد عدة أسابيع، تراجعت معدلات الفائدة ثانية بصورة مؤقتة وانخفضت حتى إلى أدنى من ذي قبل، ولكن الدولار واصل هبوطه وواصل الذهب ارتفاعه. وأعلنت شركة IBM عن تسريحات للعمال وانخفضت أسهمها، والأساس المنطقي واضح. ولكن كما هي الحال غالباً، ستسبب هذه الحوادث ارتفاع الأسهم. لماذا؟ لأن السوق، كما قيل لنا، كانت قد "قللت من أهمية" الأخبار السيئة وتشجع المستثمرون لأن الشركة أصبحت جادة بشأن خفض الكلفة. هناك متغيرات كثيرة جداً للاضطراب، أي ركود كبير جداً في شبكة الأفكار، إلى درجة أنه يمكن بسهولة أن يجد المرء تفسيراً دقيقاً لأي شيء يحدث.

كان دائماً هناك من يحتج بأن الداروينيين أيضاً مذنبون بالنقاش في حلقات مفرغة، أي أن نظرية التطور تعتمد على الحشو: بقاء الأصلح، مع تعريف الأصلح بأنهم أولئك الذين يبقون على قيد الحياة. ويرى چولد أنه عندما يجد العلماء أنفسهم يلفقون حكايات داروينية، فإنه يجب أن يتوقفوا ويبحثوا عن دليل قوي على أن الأشكال الأخرى التي يسمونها باقية على قيد الحياة، هي فعلاً الأصلح من تلك التي هلكت. ويمكن غالباً أن

يكتشفوا أن المخلوقات التي هلكت والمخلوقات التي بقيت على قيد الحياة على علاقة أدنى مع الأصلح منها مع تأرجح عشوائي للموت.

يمضي البنيويون إلى حد أبعد من چولد، محتجين بأن الطبيعة الدائرية للكثير جداً من التفكير الدارويني هي عَرَضٌ لضعف القدرة التفسيرية للنظرية. فيعتقدون أن هناك طرقاً لتفسير نشوء النظام البيولوجي الذي أُكمِل فيه الاصطفاء الطبيعي بالتنظيم الذاتي أو أن يكون هذا حل محله. وأظهرت المجموعات الذاتية الحفز التي قام بدراستها كل من كوفمان، وفارمر، وبيكارد، وبيچلي كيف يمكن أن تنظم الجزيئات نفسها تلقائياً في استقلابات، دون مساعدة من تغير واصطفاء عشوائيين. وتعرض تجارب الخيمياء عند بَسّ وفونتانا كيف يمكن لبُنى الجزيئات المعيلة لنفسها أن تنتظم نفسها في هرميات، مرة أخرى دون اليد المرشدة لداروين. وفي كلتا الحالتين، يبدو أن النظام ينشأ من الداخل بسبب طبيعة الأنظمة المعقدة. وربما أن بعض النماذج المألوفة أكثر التي نجدها في الغلاف الحيوي أيضاً تنشأ بهذه الطريقة.

إن المثال المفضل لأولئك الذين يحاولون أن يجدوا دليلاً للتنظيم الذاتي هي العين البشرية. إنها مصممة بشكل رائع جداً، بعدساتها وقزحيتها القابلة للتعديل، بشبكيتها القادرة على نقل الصور أفضل من أية آلة تصوير—العين بالتأكيد لا يمكن أن تكون تطورت من التعرجات العمياء للتطور. أو هكذا يتراءى لمنتقدي داروين. كان لا هوتي القرن الثامن عشر، وليم بيلي، يعتبر العين والأعضاء الأخرى المدبَّرة بدقة كبرهان على خالق ذكي. ولكن، مرة أخرى، لا يحتاج المرء إلى أن يكون من القائلين بالخَلْق لكي يقبل بصعوبة أن العيون نشأت بشكل صرف من تغير واصطفاء عشوائيين. حتى داروين، كما ذكر براين چودوين في مؤتمر في سنتافي، قال إنه كلما نظر إلى عين فقاري يبرد دمه. فلنتخيل ملايين التجارب البالغة الصغر التي أدت إلى تحسين رؤية الحيوان التي أرهقت سذاجته.

أجاب الداروينيون بالمذكّر المألوف بأن أدمغتنا ببساطة غير مُسَلَّكَة لكي تفهم الزمن الجيولوجي الواسع. فلنقبل بأن حيواتنا الخاصة، والمدى الوجيز لحياة العلم الحديث، هما مجرد لمحات، بالكاد يمكن تمييزها مقابل الستارة الخلفية للدهور، عندئذٍ نستطيع أن نركب سيناريو معقولاً. نجد في العالم اليوم مخلوقات وحيدة الخلية ذات رقعة حساسة للضوء تعمل كعين بدائية. وهذه الرقعة المحجوبة من جهة بصبغ أكمد، تسمح للمخلوق أن يوجه نفسه لجهة الضوء. ولنتصور أن مجموعات من هذه الخلايا الحساسة للضوء اتحدت لكي تشكل شبكية عند المتعضي الأولي. وبهذا المكشاف الضوئي البسيط في المكان الصحيح، فإن التطور سيحسنه، أكثر فأكثر، إلى عين تؤدي وظيفتها بصورة تامة. ولنفترض أن تغيراً عشوائياً أدى بهذه الخلايا الحساسة للضوء إلى أن تصبح متنحية قليلاً؛ فإن هذا يمكن أن يوفر قدراً محدوداً من الحماية للعين ويسمح بتحسن الاتجاهية. والمخلوقات، بهذه الطفرة، تستطيع ليس فقط أن تعرف ما إذا كان الضوء في مكان ما أمامها، بل تستطيع أن تعرف أين هي. وبسبب هذه الميزة الطفيفة للبقاء، سوف تنتشر نفسها على نطاق أوسع من مخلوقات أخرى حتى يمتلك معظم الخلق أعيناً متنحية قليلاً. والآن، يمكن لتغير عشوائي، بين بعض هذه المخلوقات، أن يجعل التنحي أعمق قليلاً، وهكذا يمكن أن نسحب هذه المجموعة الفرعية الأكثر حدة بصرية من البركة ونتركها تتكاثر. ومرة أخرى، يمكن لتغير عشوائي أيضاً أن يسبب تنحياً أعمق بين هؤلاء الأعضاء، وهكذا دواليك، حتى

يصبح لدينا مخلوقات ذات خلايا حساسة للضوء في قاع كأس عميق. والآن، لنتخيل أن تغيراً، أو سلسلة تغيرات، سببت تضيق الكأس من الأعلى، عندئذٍ ستوفر الفتحة التي تتضيق شيئاً فشيئاً بؤرة تزداد حدتها أكثر فأكثر، أي حدة بصرية أكبر. في هذه المرحلة، سيعمل التغير العشوائي الذي أدى إلى تشكيل غطاء شفاف فوق الثقب الصغير إلى وضع النوع على طريق تشكيل عدسة. وستؤدي تغيرات أخرى أيضاً إلى تشكل جهاز عضلي يسمح للمخلوق بأن يثني ويغير بؤرة العدسة من أجل المسافات البعيدة؛ وستؤدي تغيرات أخرى إلى تحسين القزحية، مما يسمح للمخلوقات أن تعمل في مستويات مختلفة من الضوء.

هناك طبعاً دليل حقيقي بسيط لهذا التفسير. إنها قصة **جَسْت سو** التطورية. أما إلى أي مدى هي مقنعة هذه القصة، فيعتمد على ذوق المستمع والمهارات البلاغية للراوي. وكما عرضها واحد من شارحي الداروينية الأكثر فصاحة، هو رتشارد داوكنز، في كتابه 'صانع الساعات الأعمى،' تبدو قصة العين مقنعة تماماً. فالتطور يُجتذَب نحو صنع عيون خلال ملايين المراحل التزايدية التي تقدم كل منها أفضلية طفيفة.

ولكن هذه الفرضيات، دون وسيلة لاختبارها، تستوقف بعض البيولوجيين، كـ براين جودوين، لكونها ليست علمية جداً. وحتى لو استشهد المرء بالزمن الجيولوجي الواسع، فإن الطفرات العرضية التي تؤدي إلى عين، أو كلية، أو دماغ تبدو صالحة جداً لكي تكون حقيقية. في حالة العين، يمكن أن ترقي الشكوكية إلى أبعد من الإيمان، عندما يعلم المرء أن العيون تطورت ظاهرياً ليس مرة واحدة، بل مرات عديدة في مجرى التطور. وكل نسخة مختلفة جداً من حيث التركيب، إلى حد أن البيولوجيين استنتجوا أنهم ليسوا أفراداً منحرفين عن النوع الطرازي بعين سلفية مفردة بل تجارب تطورية لا علاقية. "تطورت العين بصورة مستقلة في أكثر من أربعين سلالة أثناء التطور،" قال جودوين.[١٥٥] "واليوم، يوحي ذلك بأن هناك شيئاً ما قوياً إلى أبعد حد حول هذه العملية التي تولِّد العيون. إنها شيء ما لا يحدث مرة واحدة. ويبدو أن تلك العيون تنبق تكراراً بصورة طبيعية."

إن تكيُّفياً صارماً يمكن أن يقول، "طبعاً، ذلك ما حدث بالضبط." فاكتشاف الضوء يمنح أفضلية قوية جداً إلى حد أن أية طفرات تميل في ذلك الاتجاه يجب تشجيعها وتضخيمها. ولكن جودوين هو واحد من مجموعة صغيرة من البيولوجيين الذين يعتقدون أن هناك مبادئ تنظيم في البيولوجيا تضمن تقريباً أن بعض البُنى ستتشكل. فالأعين ليست تراكماً عشوائياً لحوادث طارئة، بل نماذج تنشأ "كما تنشأ الأمواج والحلازين في البحر،" حسب تعبير جودوين. أو، بتعبير تقني أكثر، الأعين وغيرها من الأعضاء هي جواذب في نظام ديناميكي.

وهذا يعيدنا إلى صورة المشهد الأصلح الذي تعتلي فيه التلالَ منارةٌ ترسل إشارات تجذب التطور في اتجاهات معينة. تبدو الاستعارة أقل غموضاً إذا قلبنا المشهد لكي تصبح التلال أحواضاً. وبدلاً من المتنزهين على أقدامهم، لنتخيل بِليَّ تتوازن على الحواف جاهزة للتدحرج نزولاً على أقرب منحدر. ويقال إن البِلْيَة التي تجد نفسها على منحدر يؤدي إلى منخفض تكون داخل حوض الجذب، إذ تكفي أدنى وكزة لدحرجتها إلى القاع، وهي النقطة المترافقة بمجموعة مؤتلفة من الجينات التي تكوِّن أعيناً أو بنية ما. ويمكن أن تمثل أحواض أخرى مقومات كتناسق ثنائي الجانب أو عموداً فقرياً يؤدي إلى بصيلات العصبونات مع عضوين حساسين للضوء ينتآن إلى الخارج. على مشهد التلال والوديان هذا، لا يمكن لبِلْيَة أن تبقى مستقرة على أية نقطة أو تتحرك

[155] -"العين تطورت مستقلة": الاقتباس من عرض جودوين في مؤتمر عقد في سنتافي ١٩٩٢ حول مواضيع تكاملية.

عشوائياً في أي اتجاه. فخياراتها محدودة. فعندما تكون داخل حوض الجاذب، فإنها سوف تجذب نحو القاع. وإذا كررنا عملية التطور بقدر ما نشاء، فإنه من المحتم تقريباً أن تظهر تكراراً عيون وبُنىً أخرى. إنها ضمنية في ديناميات المتعضي.

طبعاً، إن مشهد نوع مفرد، كما رأينا، سيُشوَّه باضطراد من قبل مخلوقات أخرى تبحث عن بيئاتها. وكل نوع يكون في رحلة أفعوانية على مسالك متغيرة باستمرار. أحد الأنواع سيدير أقراصه المجينية المدرجة، مرسلاً مجسات لاستكشاف المناطق المجردة. ولكن أنواعاً أخرى تدير أقراصها، مغيِّرة المشهد باستمرار. ويبدو أن كل شيء سيكون فوضى، مع أن نظاماً يشع بطريقة أو بأخرى. وربما يمكن شرح هذا أيضاً بصورة الجواذب.

إن واحدة من الظواهر التي وجدت الداروينية صعوبة في تفسيرها هي تشكل الأنواع البيولوجية. يمكن أن نتصور كيف ستعمل سلسلة من الطفرات المختارة تدريجياً على تغيير مورفولوجيا نوع ما وسلوكه، ولكن كيف يقوم هو بتلك القفزات الكبيرة–لنقل من عظاءة إلى طائر؟ إذا كانت العين والأعضاء الأخرى جواذب توجه ديناميات المتعضيات، فإن نوعاً مختلفاً ربما يكون جواذب في ديناميات نظام بيئي كامل. لنحرك مستوى الهرمية إلى أعلى ولنتخيل مشهداً تمثل فيه المنخفضات دببة، وكلاباً، وقططاً، وقنافذ بحر، والإنسان. وكل منها سيكون ضمنياً في هذا النظام–"أنواع شبحية،" يسميها چودوين.

قبل خمس وستين مليون سنة، عندما فصل الزحف القاري الألواح القشرية التي ستصبح أمريكا الشمالية وأستراليا، انفصلت مخلوقات مكسوة بالفراء، حارة الدم إلى مجموعتين، تطورتا مستقلتين، فأصبحت إحداهما حيوانات جرابية وأصبحت الأخرى ثدييات مشيمية. والمجموعتان مختلفتان من نواحي كثيرة، ولكن الجرابيات تتضمن نسخاً من الذئاب، والقطط، والسناجب، وخلود الأرض، وآكلات النمل، والفئران. ويمكن للمرء بالتأكيد أن يقدِّم تفسيرات داروينية صرفة لهذا التطور المتوازي–مجينات متماثلة في بيئات متماثلة تُنتِج مخلوقات متماثلة. ولكن، بالنسبة للبنيويين، يمكن فهم الظواهر على نحو أفضل إذا اعتبرنا وكأن الجواذب نفسها تجذب المجموعتين المنعزلتين في الحيز التطوري. وربما تقع المجموعات الدينامية بصورة طبيعية في حالات استقرار معينة لأسباب على علاقة بسيطة مع الاصطفاء الطبيعي. ويحتج البنيويون بالقول لنعد إلى الشريط، وسنجد العالم أكثر تماثلاً بكثير مما يظن چولد. يمكن أن تكون التفاصيل مختلفة، ولكن الأشكال العامة نفسها ستبقى. ونحن، مكتشفو الأنماط، سنكون هنا لكي نحاول ونجد معنى لكل شيء.

لكي يفهم كوفمان[156] كيف يمكن للجواذب أن توجه مجرى التطور الذي يدعم نشوء نظام بيولوجي، يستخدم ستيوارت نماذج حاسوب لدراسة ديناميات الشبكات. وبوصفه طالباً في جامعة كاليفورنيا، في سان فرنسيسكو، في مطلع ستينيات القرن الماضي، قبل أن يأتي إلى سنتافي بوقت طويل، اكتشف أنه في ظل شروط محددة، ستسلك الشبكات بطريقة منظمة إلى حد مدهش، حتى إذا مُدَّت خيوطها معاً بصورة عشوائية. ويمكن أن نعتبر هذه النُّسُج كشبكات من الجزيئات التي تتفاعل لكي تشكل استقلاباً أو شبكات جينات تتفاعل داخل خلية أو

---

[156] عمل كوفمان موصوف في كتابه The Origin of Order، وفي Artificial Life لـ Levy، وفي Complexity لـ Waldrop، وفي Complexity لـ Lewin.

شبكات خلايا تتفاعل لكي تشكل متعضياً. واكتشف كوفمان أنه ما دامت هذه الشبكات تبدي خصائص معينة، فإنها ستنتظم نفسها تلقائياً.

وبدأ بتصميم نماذج بسيطة للمجين باعتباره جزءاً من محاولة لفهم لغز التخلق الخلوي. وسواء كنا نتحدث عن النباتات، أو الحشرات، أو الكائنات البشرية، فنحن نعرف أن خلايا فرد ما تحتوي عادة علىالتسلسل نفسه من النكليوتيدات، أي الترميز الجيني نفسه. ويتألف هذا الترميز عند البشر من حوالي ١٠٠٠٠٠ جين، وتمثل كل قطعة من قطع الدَّنا أنزيماً مختلفاً أو بروتيناً آخر. ولكن لو كانت تمتلك مجينات متماثلة، فكيف كان يمكن لبعض الخلايا أن تعمل كخلايا كلوية، وبعضها كخلايا دماغية، وبعضها كخلايا مناعية، وهكذا دواليك؟ في كل نمط من خلية، فقط جينات معينة تكون نشيطة. ويُطلَب منا أن نتخيل بيانو جينياً فيه ١٠٠٠٠٠ مفتاح. نعزف أوتاراً معينة ونحصل على البروتينات التي تميز خلية كلوية، ونعزف أخرى ونحصل على عصبونات. وعندما تنقسم خلية بيضة ملقحة، وتنقسم خلايا ابنتها وحفيدتها وابنة حفيدتها، فإن كلا منها يورَث بطريقة ما إلى ذريته قطعة موسيقية يعزفها.

أين هي الأصابع التي تعزف المفاتيح؟ في مطلع عام ١٩٦١، أظهر البيولوجيان الجزيئيان الفرنسيان، فرنسوا جاكوب وجاك مونود،[157] أن، بين البروتينات التي ترمِّز الجينات، هناك بروتينات تشغِّل وتوقف جينات أخرى. فوظيفة بعض المفاتيح هي عزف مفاتيح أخرى. ولكن ما مصدر هذا النظام المعقد؟ إن صورة الجينات التي تشغِّل وتعطل إحداها الأخرى، توحي بتشابه الدارات الكهربائية. وتساءل كوفمان، طالب الطب، ماذا سيحدث لو أخذنا مئة بصيلة مصباح، تمثل خيط جينات (جزء من ألف طول المجين البشري)، وسلكناها معاً بحيث يمكن لكل بصيلة أن تشعل أو تطفئ عدة بصلات أخرى. سينتج لدينا مجيناً اصطناعياً بسيطاً. وهناك أي عدد من الطرق يمكن فيها سَلْك شبكة كهذه. إذاً كيف اختارت **الطبيعة** Nature ترتيباً أحدث جهازاً منظماً كخلية؟ إذا كنا نؤمن بالله المصمم العظيم، عندئذٍ يجب أن نفترض أنه، بحكمته اللامتناهية، حسب نموذج التسليك المضبوط لكل خلية في السمفونية البيولوجية. وإذا كنا نؤمن بأن كل النظام جاء من الاصطفاء الطبيعي، فإنه يجب علينا أن نقبل ما اعتبره كوفمان فكرة لا تُصدَّق: أن جهازاً معقداً جداً جُمِع بكامله، وصلة وصلة، عن طريق تجربة وخطأ الاصطفاء الطبيعي. كان كوفمان يتطلع إلى إثبات أن هناك، بين هذين الرأيين المتطرفين، أرضية وسطاً. ربما لم يكن نظام المجين بعيد الاحتمال وهشاً جداً، فُرِض فقط من الخارج، سواء من قبل خالق أو بواسطة الضغوط الاتفاقية للتطور. وربما كان النظام تلقائياً، يشع من الداخل. وبالضبط كما يمكن أن ينشأ نظام استقلابي من مزيج عشوائي للجزيئات بواسطة السحر الرياضي للحفز الذاتي، فربما يكون من المحتم تقريباً أن تنتظم مجموعة من الجينات نفسها في آلية بيولوجية معقدة ضرورية لتشغيل خلية.

وباستخدام حاسوب لمحاكاة الدارات الكهربائية الجينية، صمم كوفمان شبكته بحيث يتلقى كل جين إشارات من جينين آخرين. ولكي يضمن أن أي نظام يمكن أن ينشأ لن يكون مفروضاً من قبل المصمم بل مولَّداً ذاتياً، فإنه صنع الوصلات عشوائياً. وعشوائياً أيضاً حدد لكل بصيلة قانوناً بسيطاً بخصوص متى يجب أن تضيء أو تنطفئ. كانت القوانين تشبه كثيراً قوانين الجهاز الخلوي الذاتي الحركة: "إذا كانت جين الدخل A مضاء و B

[157] رويت قصة موند وجاكوب على نحو جميل في الجزء الثاني من Eighth Day of Creation لـ Judson.

مطفأة، فعليك أن تضيء،" على سبيل المثال، أو "عليك أن تضيء فقط إذا كان كلا جيني الدخل مضيئتين." تُعرَف هذه القوانين، في علم الحاسوب، بالدَّالّات البوليانية، باسم جورج بول، عالم رياضيات القرن التاسع عشر، الذي ابتكر المنطق الذي يستخدم اليوم في الحواسب الرقمية. وفي المصطلحات البوليانية، سمي الجين الذي يتنشط فقط إذا كان كلا الدخلين، A وB، منشطين ببوابة And؛ وفي بوابة Or، سيضيء الجين إذا كان إما A أو B نشيطاً. وعند كل تكة ساعة، ستقوم كل بصيلة بفحص دخولها وتحدد في أية حالة يجب أن تكون، مضيئة أو منطفئة. نشغِّل الشبكة بسرعة عالية وستظهر نماذج ذات تسلسل معقد.

هنا، قد يظن المرء أن البصلات، في شبكة مسلَّكة عشوائياً، سوف تومض جزافاً، دون نظام يمكن تمييزه. فإذا أمكن أن تكون كل بصيلة إما مضيئة أو منطفئة، فإنه ستكون أمامنا $٢^{١٠٠}$ ($١٠^{٣٠}$ تقريباً) حالة مختلفة–نماذج إضاءة–أي أن شبكة مؤلفة من مئة بصيلة يمكن أن تكون داخلية. فإذا دارت خلال كل حالة وكل احتمال، الواحدة بعد الأخرى، فإنها لن تُتِم مسارها قبل الموت المُصمَّم للشمس–حتى لو تكَّت الساعة بلايين المرات في الثانية. ولكن كوفمان اكتشف أن سلوك الشبكة كان مقيداً إلى أبعد حد. وبعد التدوير خلال عدة نماذج، فإنها ستبدأ بسرعة بتكرار نفسها، مستقرة في تسلسل أنماط راسخ، وهو ما يسمى بدورة الحالة. لقد جذبها جاذب آخر.

والآن ربما كان مجرد مسألة حظ أن أطلق كوفمان شبكة بترتيب أولي لواحدين وأصفار، مما أدى إلى هذه الحالة المستقرة. وربما بشروط أولية مختلفة، ستتخذ سبيلاً مختلفاً كلياً، ولن تستقر أبداً. ولكن كوفمان اكتشف أن الشبكة كانت تقع في واحد من سبعة أنماط تكرارية أياً كان نمط الدخل الذي يختاره. وفي مواجهة هذا الترتيب المربك للمسارات المحتملة، كانت تفضل هذه الأنماط القليلة. أو، كما يقول علماء الرياضيات، كانت هناك سبعة جواذب تجذب الشبكة إلى سبعة أنماط مستقرة من السلوك.

ولكن ما كل الشبكات تعمل بهذه الطريقة الممتعة الحسنة السلوك. إذا تم تسليك الشبكة بحيث تتلقى كل بصيلة دخلاً فقط من بصيلة أخرى واحدة، فإنها ستتجمد بسرعة، مبدية نمطاً إستاتياً لبصلات تضيء وتنطفئ. كانت مثابرة على دورة حالة تألفت فقط من حالة واحدة. أو إذا قمنا بزيادة عدد الروابط، بحيث تتلقى كل بصيلة مداخيل من عدد من البصلات، فإن الشبكة يمكن ألا تستقر أبداً؛ إنها أساساً ستدور دائماً، ودورات الحالة هائلة جداً، إلى درجة أنها يمكن أن تستغرق لاجتيازها أضعاف عمر الكون. ولن يكون بالإمكان سبر غور سلوكها ببصرنا المحدود.

يقول كوفمان إن هذه الأنظمة المرتبطة بشدة هي، في الأساس، فوضوية. وعندما تقع شبكة ضعيفة الترابط في جاذب، فإنها ستميل إلى البقاء هناك. فإذا وكزناها بتغيير الواحد إلى صفر في سلسلة الدخل، فإنها ربما تعود إلى السقوط في حوض الجذب نفسه. ولكن الشبكة المترابطة بشدة، سيرطمها أقل تشويش من جاذب إلى آخر، وسيجعلها تنحرف في اتجاه مختلف تماماً. وكانت فقط تلك الشبكات التي تتلقى بعض المداخيل من خلايا أخرى–يبدو أن خليتين ستكونان مثاليتين–هي التي استقرت في عدد قليل من الدورات الثابتة. وما دام الامتثال لهذا المعيار قائماً، فإننا لا نحتاج إلى تصنيع الشبكة يدوياً بدقة، بسلكها معاً تماماً هكذا. نقذفها دفعة واحدة بصورة عشوائية، فيظهر سلوك منظم.

حتى بالنسبة للشبكة الضعيفة الترابط ذات المئة ألف جين–حجم المجين البشري–سيكون هناك فقط عدد ضئيل من الدورات الثابتة. وحسب كوفمان أنه من العدد الفلكي لدورات نظام كهذا يمكن افتراضه، ستختار بصورة طبيعة حوالي ٣١٧ مساراً. يحلو لكوفمان الاعتقاد بأنه ليس صدفة أن يكون عدد الحالات الثابتة في نمطه التقريبي للمجين من النظام نفسه للحجم كعدد الأنماط المختلفة للخلايا التي اكتُشفَت في الجسم البشري، وعددها حوالي ٢٥٠. ربما أن كل واحدة من الدورات الثابتة، أي كل جاذب، يمثل نوعاً مختلفاً لخلية، التي تنتج تسلسلاً مختلفاً من البروتينات. وفي الواقع، بعد فحص معطيات عدد من الأنواع، اعتقد أنه تنبأ بقانون، قانون طبيعي ينشأ من ديناميات الشبكة المجينية: عدد أنماط الخلايا هو تقريباً الجذر التربيعي لعدد الجينات.

حتى بعد استبصارات جاكوب وموند، يبقى واحد من أكثر الألغاز إرباكاً في البيولوجيا هو كيف "يعرف" جنين نام، بالمقدمات الاتساعية لخلاياه، متى يجب أن يتوقف عن تصنيع الخلايا الكبدية، مثلاً، ويبدأ بتصنيع الخلايا الكلوية. والاعتقاد السائد هو أن الإشارات الكيميائية هي التي تقدح التغيرات، حيث أنها تشغِّل وتوقف جينات معينة في اللحظات المناسبة. ولكن كيف يؤدي هذا إلى انتشار منظم؟ في نموذج كوفمان، ستكون خلية جلدية عملاً ثابتاً جداً، حيث تجثم في قاع حوض الجذب. نقلقها قليلاً بنوع من رسول جزيئي، فتصعد التل إلى مسافة قصيرة، وبعدئذٍ تعود لتستقر في القاع. وهذا هو جوهر ما نقصدة بالاستتباب. ولكن إذا أقلقناها بما يكفي، فإنه يمكن أن تتحدب فوق حرف وفي حوض مجاور، حيث تصبح خلية عصبية. وخلال مراحل عديدة من النمو، ستقوم الإشارات الكيميائية بدفع الخلايا إلى أحواض جذب مختلفة. ولكن ديناميات الشبكة ستضمن أن لا تكون كل الأحواض قريبة من بعضها بعضاً. وإذا صدمنا عصبوناً بقدر ما نشاء من قوة، فإنه لن يصبح خلية دموية. فالعصبونات والخلايا الدموية تُمثِّل بوديان منفصلة على نحو واسع في الحيز المجيني.

يدعم عمل كوفمان تنامي الإدراك بين البيولوجيين حول كيف تكون، في الواقع، دينامية المجين. إنها لا تعكس، بصورة غير مباشرة، فقط ضغوط البيئة؛ بل هي نفسها تولِّد نمطاً وتغييراً. وكثيراً ما يوصف المجين بأنه نَصٌّ. والاستعارة الأفضل، والأكثر دينامية يمكن أن تكون برنامج الحاسوب، ولكنه برنامج يختلف كثيراً عن تلك البرمجيات التي يطلقها بانتظام مهندسو البرمجيات إلى العالم. ولنبدأ بمعالج النصوص الذي يتألف من سلسلة تتكون تقريباً من مليون بِتّ، ولنقلب واحداً منها من واحد إلى صفر، أو العكس. عندئذٍ يحتمل جداً أنه لن يكون هناك، بعد الآن، معالج نصوص. وإذا حدث هذا أثناء عمل المعالج على حاسوب، فإن النظام يحتمل أن يتحطم. فمعالج النصوص يقيم على مشهد ذي ذروة وحيدة بثخانة إبرة. وكل نقطة من المنطقة تمثل سلسلة مختلفة طولها مليون بِتّ، وهكذا يتألف الحيز من مليون بُعْد. ويجثم معالج النصوص على القمة الحقيقية للجرف؛ وأدنى وكزة ستجعله يسقط إلى القاع. وإذا قلبنا ما يكفي من البتّات، فإنه يمكن أخيراً أن نحوِّل معالج النصوص إلى برنامج لجدول حساب أو لعبة ڤيديو. ويمكن أن نتخيل هذه كذرى إضافية في المسافة البعيدة، ولكن تمتد بينها صحراء واسعة قاحلة من مجموعات المليون بِتّ التي لا تؤدي أية وظيفة. ولنفترض أننا كنا نحاول تطوير معالج نصوص–أو أي برنامج–على مشهد كهذا. وبدأنا بسلسلة اعتباطية من واحدين وأصفار، ونقفنا عشوائياً أحد البتّات، ثم قمنا باختبار لمعرفة ما إذا كنا قد حققنا هدفنا. ولكن، بما أن الأكثرية الواسعة من الطفرات ستكون كارثية أو عديمة الأهمية، فإنه من الصعب معرفة مدى التحسنات التي يمكن أن تكون قد

تراكمت. فوق هذه المنطقة الرتيبة، لن نتلقى إشارات بخصوص الاتجاه الأفضل الذي يجب أن نستكشف فيه.

إن الحاسوب المجيني عند كوفمان من جيل مختلف تماماً. فهو، كما يحلو له أن يصفه، يقيم على مشهد أكثر شبهاً بجبال الألب، ذات الذرى المرتفعة التي تستكن بجوار بعضها بعضاً ووفرة العلامات التي تشير إلى الطرق التي يجب تسلقها للوصول إلى مونت بلانك. والنتيجة هي شبكة قوية، وليست هشة، تستجيب بلباقة للطفرات–شبكة قادرة على التطور. إن البرنامج المجيني، على عكس برنامج معالجة النصوص، لا يحتمل أن يستجيب لطفرة نقاط بالغوص إلى قاع الجرف. فلنغيّره قليلاً بتعديل رباط أو استبدال بوابة And ببوابة Or، وعندئذٍ يتحرك في المنطقة قليلاً إلى أعلى أو قليلاً إلى أسفل. ويخطو بحذر، مدفوعاً بهذه الطفرات، عبر المشهد التطوري، سائراً ببطء نحو الهدف.

إذا فهمنا المجين بهذه الطريقة، فإنه لن يكون مولِّد أرقام عشوائية، قادراً على إنتاج أية سلسلة خرج اعتباطية، أي أية ظاهرة وراثية. إنه يحل شريط النماذج القانونية، لا معرفة الأشكال. استخدم نيلز بور ميكانيكا الكم لكي يعرض لماذا تقوم الإلكترونات بتطويق النوى فقط بطرق قانونية معينة. فالمرء لا يستطيع أن يضع نواة في منتصف الطريق بين الهدروجين والهليوم. ليس هناك مُتَّصَل دقيق لا نهائي؛ وبدلاً من ذلك، هناك كُموم منفصلة. وربما كانت هذه الكموم التي تسمى جواذب هي التي توجه ديناميات المجين. والدرس الذي استقاه كوفمان من هذه القصة هو أن الاصطفاء الطبيعي ليس كافياً بحد ذاته لصنع أعمال معقدة كالمتعضيات. ويمكن أن يعمل فقط على أنظمة تولِّد مسبقاً أنظمتها الداخلية الخاصة لكي يختار الاصطفاء من بينها. فنظام، كمعالج النصوص، الذي يفتقر إلى قدرة التنظيم الذاتي هذه عاجز عن التطور. ويوفر النظام الطبيعي للمجين الحنطة لمطحنة الاصطفاء.

وبتعميم هذه الفكرة، يحاول كوفمان أن يُثبِت أن النظام التلقائي كان موجوداً في البداية الفعلية للحياة. لنعتبر بصيلات المصابيح في الشبكة كجزيئات بدلاً من جينات. فيمكن اعتبار الجزيء الذي يحفز تشكل جزيء آخر بأنه يشعله، والآخر الذي يعوق إنتاجه بأنه يطفئه. إن الشبكات الذاتية الحفز الضعيفة الترابط، يجب أن تبدي نظاماً داخلياً. ويمكن أن تقع في تكوينات معينة، وسيختار الاصطفاء من بينها. وأخيراً–وهذه ثغرة كبيرة في القصة–سيتآمر الاصطفاء والتنظيم الذاتي لصنع خلايا ذات مجينات ضعيفة الترابط. وستبدأ بتوليد نظامها الداخلي الخاص. وعن طريق العبث فقط بأنواع معينة من الخلايا، سيجمع الاصطفاء الطبيعي متعضيات– شبكات من خلايا تحكمها جواذب تضمن نشوء العيون والأعضاء الأخرى مراراً. وفي الجدل بين مؤيدي التكيفية والتنظيم الذاتي، يميل كوفمان إلى الفريق الأخير. فالاصطفاء الطبيعي مهم، ولكن على كل مستوى، إنه النظام الداخلي للشبكات المسؤولة، بالدرجة الأولى، عن النماذج التي نراها.

وهكذا، نجد هنا أسطورة جديدة للخلق. في البدء، وصل المزيج الكيميائي في البحر الأولي إلى مستوى حرج من التعقيد. ومع عدد من التفاعلات الكامنة التي تتزايد بسرعة أكبر من تزايد عدد أنماط الجزيئات، كانت المياه حبلى بالحياة. فنشأت الاستقلابات المعيلة للذات تلقائياً. وتجمدت الاستقلابات ذات الروابط القليلة وسقطت على جانب الطريق. فهي لم تكن سائلة بما يكفي للبقاء في عالم حيث تتغير البيئات بعنف ونحن نحتاج إلى القيام بقفزات هائلة لكي نفلت من الانقراض. أما الاستقلابات ذات الروابط الكثيرة جداً فكانت حساسة جداً. فدفعتها

أدنى وكزة إلى التدويم في نوبات فوضوية. وهي أيضاً تم التخلي عنها. ولكن الشبكات الضعيفة الترابط اسجابت إلى التشويشات بلباقة. فكانت معظم الوقت تتفاعل بتحفظ استجابة لطفرة، ولكن أحياناً ستقوم بقفزات محفوفة بالمخاطر. وهكذا تطورت، ولكن، إلى حد بعيد، بلغتها الخاصة. وبسبب دينامياتها الداخلية، أي جواذبها، أمكن أن تتخذ أشكالاً محددة. هذه هي الأنظمة التي اختار الاصطفاء من بينها. وبين البنى التي نشأت بصورة طبيعية، كانت الأغشية والأحماض النووية والجينات–مكونات الخلايا. وعندما قفز المجين إلى الوجود، قامت جيناته بتنظيم نفسها في حواسب صغيرة تعمل الآن على تثبيط كل خلايانا، مقدمة لوحة لأنماط الخلايا التي نظمت نفسها إلى مخلوقات الأرض.

إذا اعتبرنا متعضياً كنوع آخر من شبكة، عُقَدُها خلايا مترابطة بواسطة إشارات كيميائية، نستطيع أن نفهم لماذا يعتقد البنيويون أنه يمكن أن يكون هناك قوانين تولِّد تصاميم محددة للجسم. يمكن اعتبار العشائر المتعددة–أشباه الإنسان، الرخويات، الحلقيات، قنفذيات الجلد، الحبليات–كجواذب في الحيز التطوري.

وإذا كانت خليةٌ شبكةَ جينات، وكان جسمٌ شبكةَ خلايا، عندئذٍ يمكن أن نعتبر نظاماً بيئياً شبكةَ أنواع. وإذا كان الترتيب منظماً جداً، فيه نوع واحد يؤثر ويتأثر فقط ببضعة أنواع أخرى، عندئذٍ سيكون النظام البيئي راكداً، غير قادر على تحمل تغير بيئي مفاجئ. وإذا كان النظام البيئي مترابطاً بقوة، عندئذٍ سيصبح فوضوياً؛ وأدنى تغير في البيئة، سيدوي عبر الشبكة، ويسبب انهيارها. ولكن الأنظمة البيئية الضعيفة الترابط ستكون قادرة على تنظيم نفسها في بُنىً ثابتة قادرة على التطور.

إذا سألنا لماذا نرى الأنماط نفسها مراراً وتكراراً، فإن جواب كوفمان سيكون أقرب بكثير إلى جواب المورفولوجيين العقلانيين منه إلى جواب داروين: لأن هناك أشكالاً طبيعية، وقوانين للمتعضيات. يعتقد هوجو دو فرايز أن المسألة السائدة في البيولوجيا لم تكن بقاء الأصلح بل مجيء الأصلح. فكيف تصنع الطبيعة كل قفزة على هرمية التعقيد؟ وكوفمان، مثله مثل فونتانا وبَسّ، يعتقد أن التنظيم الذاتي يلعب الدور الرئيس.

إذا كان هذا النظام العفوي واقعياً، فهل يضمن أن الحياة على كواكب أخرى سيمكن إدراكها بأية حال؟ وهل يعقل أن سكان الأرض Earthlings، والڤُلْكان Vulcans، والكلِنچون Klingons، والرومولان Romulans، والباجوران Bajorans، والكَرْداسيان Cardassians، وفيرينجي أُفْ ستار تريك Ferengi of Star Trek سيبدون متشابهين إلى حد بعيد؟ في أسطورة كوفمان الأصل، تنبثق مجموعات ذاتية الحفز بسهولة كبيرة من أي مزيج مركب من جزيئات إلى درجة أنه يمكن أن يكون هناك أنواع كثيرة مختلفة من الاستقلابات السلفية. ولكن يعتقد أن كل هذه الشبكات ستبدي الديناميات العامة نفسها. وهكذا، كلما عُزِف الشريط، شحذ التطور الاستقلابات داخل الخلايا بشبكات جينية متماثلة. وبالتالي ربما يمكن أن نتوقع رؤية بُنىً كأذرع وسيقان وأعمدة فقرية تنشأ مراراً وتكراراً. أو ربما كانت السمات الجسدية التي نسلِّم بها جدلاً تقع في طبقة التفاصيل التي لا تُحفَظ. وعلى الرغم من ذلك، يمكن، على الأقل، أن نتوقع الظهور المتكرر لشبكات ضعيفة الترابط، ثابتة بما يكفي لحفظ نفسها في حين لا يمكن التنبؤ بما يكفي بتوليد التنوع المتواصل من البُنى والاستراتيجيات التي تساعدها على البقاء. وبالتأمل عميقاً داخل العوالم المجردة، اكتشف كوفمان والبنائيون إشارات لمبرر وجودنا هنا–ليس كمخلوقات لعشوائية ولكن كمخلوقات لقانون طبيعي. فالبشرية وجدت مكانها في الكون كجاذب في

حيز الاحتمالات.

عندما تُركَّب مصفاة في الدماغ، فإنها تقوس كل شيء نراه. وعند التحديق في أجمة، يرى الداروينى جمال الاصطفاء الطبيعي، وشيطان ماكسويل غير المرئي الذي يصفي النظام من العشوائية في محاولة عبثية لا يمكن أن تنجح في النهاية. وبدلاً من ذلك، يتخيل البنائي مشهداً متعدد الأبعاد للأصلح، تضمن دوَّامات أحواضه عالماً منظماً. ومثلنا جميعاً، يصطدمان بعدم معرفة مدى انتشار النماذج التي يرونها في العالم أو أن تكون مفروضة بواسطة مواشير أجهزتنا العصبية.

الفصل العاشر

تحت بصر المشاهد

إذا جلس المرء في حفلة أوبرا الهواء الطلق في سنتافي، فإنه يستطيع أن ينظر أميالاً إلى ما وراء الموسيقا– شمالاً، فوق رؤوس المغنين، إلى جبال جيميز، حيث تنطلق أحياناً صواعق حمراء حقيقية إلى أصوات الآلهة المدوية على المسرح. يستطيع، ولا شيء فوق رأسه سوى السماء، أن يستند في مقعده إلى الخلف ويحاول، وهو يتمايل مع الإيقاعات والألحان (نغمات منظمة في الزمان والمكان) أن يحصي الانتثار العشوائي للنجوم. وتنتشر الألحان التي تدوي من المسرح–هذه التنظيمات المدروسة فقط لاثنتي عشر نغمة المقيدة أيضاً إلى حد أبعد بكنتورات المقام الموسيقي– نحو الخارج إلى مسافة بضع مئات الياردات. وبعدئذٍ تتبدد بنيتها في التصادمات العشوائية لجزيئات الهواء.

إن التعقيد–هذا التوتر المرهف بين النظام والمباغتة–شيء هش جداً. وعلى الرغم من ذلك، فإننا، في كون محكوم، كما يبدو، بالقانون الثاني للديناميات الحرارية، نحصل على بُنىَ وبُنىً من بُنىً. فعندما تنساب الطاقة من خلال نظام، فإن الأنتروبيا تُنفَث إلى البيئة ويمكن لنمط أن ينشأ موقتاً. فهل جيوب التعقيد هذه مجرد انحرافات انتزعت من عالم تسوده العشوائية، أم أنها نشأت، دون جهد، من قوانين التنظيم الذاتي كتلك التي استكشفناها في معهد سنتافي؟

إن واحداً من أكثر الاقتراحات إثارة للجدل للخروج من المعهد هو أن هناك مُتَّصَل بين النظام والشواش، وأن التعقيد يقع في الوسط بين هاتين النهايتين. فبين السلوك المتهور الذي لا يمكن التنبؤ به للأنظمة الجامحة، كالعواصف الرعدية، والسلوك الصارم غير الممتع للأنظمة الرفيعة التنظيم، كالبلّورات، تقع هذه الظاهرة التي نسميها التعقيد–غنية، لا يمكن التنبؤ بها، متاخمة للشواش، ولكن دائماً بما يكفي من النظام لإبهاج العقل. وقد انتهى كرِسْتوفر لانجتون، وستيوارت كوفمان، وبعض زملائهما، إلى الاعتقاد بأن التطور يحمل بصورة طبيعية الأنظمة إلى هذا التحول. وافتتنوا كثيراً بالفكرة إلى درجة أنهم حولوها إلى شعار اكتشف كتَّاب العلم أنه لا يُقاوم: "الحياة تتطور إلى حافة الشواش."[١٥٨]

تبدو صورة مُتَّصَل من النظام إلى التعقيد إلى العشوائية مقنعة جداً إلى درجة أن بعض الناس في معهد سنتافي يتحدثون بحماس عن قانون أساسي جديد، قانون سيقدم للتعقيد ما قدمه القانون الثاني للأنتروبيا–يُظهِر أنه ميل طبيعي للكون. ولجعل هذه الفكرة واقعية، يستخدمون أحياناً استعارة تحول الطور الذي ينصهر فيه جسم جامد، جزيئاته صلبة وبلّورية، إلى سائل انسيابي، وأخيراً يتبخر في حركات عشوائية لغاز. فالتعقيد يشبه طور السيولة–منظماً، بالتأكيد، ولكن كفوء لسلوك غني جداً ولا يمكن التنبؤ به إلى درجة أنه يتغازل باستمرار مع تعقيد أو جذاب لا يسبر غوره، أو شواشي.

واستنتجوا أن هذا التوازن الدقيق هو الذي يسمح للأنظمة المعقدة أن تعالج المعلومات. وتمضي الحجة:

---

[158] ، وكلها وردت أعلاه. ولمزيد من التفاصيل، انظر كتابي Lewin، و Levy، و Waldrop -وصفت حافة الشواش في المعالجات الشائعة التي كتبها كوفمان، و Computation at the Edge of chaos لـ Langton.

تحتاج معالجة المعلومات إلى تخزين ونقل. والنظام الجامد مستقر بما يكفي لخزن المعلومات؛ فهو أرض تحمُّل البُنى والأنماط. ولكن الذاكرة غير كافية؛ ومن الضروري دفع البثّات للاستمرار. في النظام الشواشي، تنتشر المعلومات بسرعة كبيرة؛ فليس هناك ذاكرة إطلاقاً. ولكن النظام السائلي منظم بما يكفي لذاكرة، إنه سائل بما يكفي للانتقال. ويظن البعض أيضاً أنها أنظمة على حافة الشواش كفوءة لحساب عالمي. وكحاسوب رقمي، يمكن نظرياً أن تحاكي أي نظام آخر، وتنجز الانضغاطات، وترسم خرائط العالم. ويمكن أن تعمل كإچيوزات، أي أنظمة لجمع المعلومات واستخدامها.

تابع زيورِك، وجِلْ-مان، وهارتل سلسلة بسيطة من التجريدات لتقرير أن الإچيوزات متجذرة في فيزياء الكم- أي أنها جزء طبيعي من هذا الكون. وحاول لانچتون، وكوفمان، وزملاؤهما -من خلال مسار مختلف كلياً لكنه تجريدي بالتساوي- أن يبرهنوا على أن نشوء مكتشفي الأنماط يجب أن يكون متوقعاً. فعند "حافة الشواش" تنشأ أنظمة معقدة، وتكون قادرة على معالجة المعلومات. وهكذا ربما يكون هناك أساس ما للأمل بأن لا تكون هذه القوة التي تجد نظاماً وتبني أنظمة نتيجة عرضية بل طبيعية لقوانين الفيزياء. هناك شيء ما دائري إلى حد غريب حول كل هذا: العلم، فن ضغط البيانات، تحويل النظرة رجوعاً إلى الذات والاكتشاف، والمباغتة، تلك القدرة عينها أساسية لجمع وضغط البيانات. ولا عجب في أننا، نحن صانعو الأنماط، أي السواد الأعظم، لا نستطيع، ونحن مدفوعين لنسج شباكنا الرقيقة، إلا أن نضع أنفسنا، كالعناكب، في المركز بالذات.

بالنسبة لأولئك الذين يبحثون عن خريطة شاملة للواقع الذي تسجله حواسنا، من المغري الاعتقاد بأن الأنظمة المعقدة يمكن أن تكون كلها محكومة باليد غير المرئية نفسها. ألا يمكن للقوانين نفسها التي توجه شبكة عصبونات أن تشكل سلوك دارات العصبونات التي تملأ رؤوسنا؟ يستطيع العلماء بحواسيبهم أن يصوغوا الدماغ كشبكة عشوائية. هنا تكون "بصيلات المصابيح" هي العصبونات بدلاً من الجينات وتكون مترابطة في شبكة معقدة. وتماماً كما تعمل بعض الجينات على تنشيط وكبت جينات أخرى، فإن الروابط بين العصبونات يمكن أن تكون مثيرة أو مثبطة-إشارة ستشجع العصبونات إما على أن تثور أو تحافظ على الهدوء. في عمليات المحاكاة، تعمل العصبونات، كجينات كوفمان المحاكاة، على تشغيل وتوقيف أحدها الآخر وفقاً لأبسط القوانين. ومن ناحية ثانية، يبدو أحياناً أن نظاماً معقداً ينشأ بصورة تلقائية: بين العدد الفلكي للحالات الممكنة، تستقر شبكة عصبية إلى قلة محدودة. وعلى الرغم من أن الجواذب، في مخطط المجين، يمكن أن تمثل أنماط الخلايا، فقد اقتُرِح أنها، في شبكات الدماغ، توازي الذواكر وأساليب السلوك.

وإذا ارتفعنا بمستوى التجريد، عندئذٍ يمكن أن نعتبر النظام الاقتصادي كشبكة. هنا يكون الناس هم الوحدات، بدلاً من الجينات أو العصبونات، والإشارات التي يقايضونها تتألف من المال، والسلع والخدمات. من كل هذه التفاعلات ينشأ نظام اقتصادي، متعضٍّ فائق مع ذخيرة من أنماط السلوك. ويظن كوفمان، ولانچتون وبعض مؤيديهما الأكثر حماساً أن الشبكات العصبية والاقتصادية، إضافة إلى المجين، توجد على "حافة الشواش،" وأنه في عالم التعقيد هذا يمكن أن تشارك في المعالجة الأكثر قوة للمعلومات.

ولكن من السهل الانجراف إلى مكان آخر. فهذه المقارنات تبدو مبتسرة في نظر بعض العلماء في معهد سنتافي. في مطلع تسعينيات القرن الماضي، أصبحت العبارة "حافة الشواش" تتكرر كثيراً إلى درجة أن بعض

العلماء الشباب لم يستطيعوا قولها بصراحة؛ فكانوا يتكلفون الابتسام، ويقلِّبون أعينهم، ويرفعون أصابعهم لرسم علامات الاستفهام حول ما أصبح كليشة مملة بالنسبة للكثيرين. فما مدى عمق الفهم الذي قدمته فعلاً فكرة حافة الشواش إلى منشأ هذه الصفة المراوغة التي نسميها تعقيداً؟ وفي القول إن التعقيد يوجد على حافة الشواش، هل كان كوفمان ولانچتون يقولان أي شيء عميق حقاً، أم كانا يعرضان فقط ما هو واضح؟ وقد عبَّر كريس مور،[١٥٩] وهو فيزيائي شاب في المعهد، كما يلي: يمكن أن يفهم لماذا لا يكون هناك شيء مهم جداً حول سلسلة تتألف كلها من واحدين أو كلها من أصفار. ويمكن أن يوافق على أن ليس هناك شيء مهم جداً حول مجموعة كل تعديل ممكن للواحدين والأصفار. ويستطيع أن يقبل بأنه في مكان ما بين هاتين النهايتين توجد أنماط معقدة مهمة. ولكن، هل كان هناك شيء أكثر عمقاً من ذلك بالنسبة للفكرة؟

إن التعقيد مفهوم مراوغ إلى حد يدفع إلى الجنون. وفي أواخر ثمانينيات القرن الماضي، حاول لانچتون ونورمان بيكارد فهمه عن طريق دراسة سلوك الأوتوماتونات الخلوية، وهي رقعات خلايا تشبه رقعات الداما وتولِّد سلوكاً معقداً من بضع تفاعلات محلية بسيطة. والأوتوماتون الخلوي بالنسبة لدراسة التعقيد كالإشريكية القولونية أو المستورقة بالنسبة لعلم البيولوجيا–مستحضر بسيط نسبياً استخدم لفتح نافذة على الظواهر المعقدة. ولتبسيط المسائل إلى حد أبعد، كثيراً ما يدرس علماء الحاسوب أوتوماتونات أحادية البعد، تتألف ليس من شبكة مصبعة ولكن من سلسلة أفقية من الخلايا كل منها يمكن أن تكون إما مضيئة أو منطفئة. فكيف ينشأ سلوك معقد من نظام بسيط جداً؟ في الأوتوماتون الخلوي الأحادي البعد، تتأثر خلية فقط بقيم جاراتها إلى اليسار أو إلى اليمين. فإذا كان نصف قطرها ثلاثة، فإن "جوارها" يتألف من ثلاث خلايا على كلا جانبيها؛ وعند كل تكة ساعة، تلاحظ كل خلية قيم جاراتها، وتنجز الحساب، واعتماداً على قيمها الخاصة، تحول نفسها إما إلى مضيئة أو منطفئة. ويمكن أن يقول القانون إنه إذا كانت الخلايا الثلاث إلى اليسار مضيئة والخلايا الثلاث إلى اليمين منطفئة، عندئذٍ يجب أن تكون الخلية في الوسط دائماً مضيئة. أو إذا كان التسلسل اليساري مضيئاً–منطفئاً–منطفئاً والتسلسل اليميني منطفئاً–مضيئاً–منطفئاً، عندئذٍ يجب أن تقوم الخلية الوسطى بتغيير القيمة. في تجربة ما، يفكر المرء بالجوار، ويحدد مجموعة قوانين، ثم يشغِّل النظام بنمط عشوائي من الخلايا المنطفئة أو المضيئة، ١ أو ٠. ومع كل تكة ساعة، تتجدد معلومات النظام ويظهر نمط. فإذا كان الحاسوب مبرمجاً بحيث يوضع كل جيل جديد تحت سلفه، فإن النماذج تنفتح كأوتومونات خلوية وحيدة البعد. في الزمن ٠، يعطى كل أوتومان خلوي، مبرمج وفقاً لقوانين مختلفة، سلسلة عشوائية من واحدين وأصفار (خلايا إما بيضاء أو سوداء). في كل تكة ساعة، تتولد سلسلة جديدة وينفتح نمط مميز. واعتماداً على دخله، يظهر الأوتوماتون الذي اكتشفه چاكس، وكرديوموف، وليڤن، وأخيراً يميل إلى التجمع على سلاسل تكون كلها إما سوداء أو كلها بيضاء.

في عام ١٩٨٤، اقترح الفيزيائي ستيفن وولفرام[١٦٠] أن معرض الأوتوماتونات الخلوية الأحادية البعد، التي تحكمها قوانين مختلفة، يمكن تقسيمها إلى أربعة أصناف. يتجمد أكثرها بسرعة مهما كان الشكل الأولي: بعد الوميض خلال بضعة نماذج تدخل في روتين معين، كاشفة دائماً سلسلة الواحدين والأصفار نفسها–دورة حالة

---

[159] -أطلق كريس مور ملاحظاته أثناء مناقشة حول حافة الشواش في معهد سنتافي، ٢٩ حزيران ١٩٩٣.

[160] بحث وولفرام الذي يقسم الأوتوماتونات الخلوية إلى أربعة أصناف: Unuversality and complexity in cellular Automata.

بطول ١. وأخرى دورية: بعض الأشكال الأولية ستدفعها إلى الاستقرار في دورة أطول، منتجة التسلسل نفسه من الأنماط مراراً وتكراراً. كلا هذين النوعين من الأوتوماتونات الخلوية محكوم بجوانب بسيطة تقريباً. وفي الطرف الآخر، أتوماتونات تولِّد نماذج لا يمكن تمييزها من العشوائية. وإذا شغَّلناها بسلاسل معينة من واحدين وأصفار، فإنها تولِّد ما يمكن أن يشبه ثلجاً على جهاز تلفزيون. ومع أنها أخيراً ستكرر نفسها (الأنظمة، على الرغم من كل شيء، حتمية ومتناهية)، فإن الدورة يمكن أن تكون أطول من الكون الذي يحتمل وجوده. إن نمط دخل مختلف قليلاً سيرسل الأوتوماتونات في رحلة مختلفة تماماً من خلال مكان أنماط محتملة. وهذه الأوتوماتونات، بهذا المعنى، تكون شواشية. والأكثر أهمية بالنسبة لأولئك الذين يبحثون قوانين التعقيد هو الصنف الرابع من الأوتوماتونات الخلوية التي هي ليست مثبتة، أو دورية، أو مختلة–تنتج ما يبدو شبيهاً بسلوك معقد.

واعتماداً على تصنيف وولفرام، اقترح لانجتون[١٦١] أنه يمكن ترتيب الأنماط الأربعة للأوتوماتونات الخلوية على مقياس يتراوح من منظم إلى معقد إلى مختل. ولكي يقيس أين ينطبق أوتوماتون على هذا التدرج، اخترع كمية تسمى بارامتر لامدا. وبعد دراسة عينة عشوائية من الأوتوماتونات الخلوية، اقتنع أن الأوتوماتونات التي تحمل قيم لامدا متوسطة، على "حافة الشواش،" يحتمل أن تكون قادرة على سلوك غني ومشوق، بما في ذلك الحساب–القدرة على صنع انضغاطات واكتشاف التناسقات في العالم.

ومضى بيكارد[١٦٢] إلى أبعد من ذلك، عندما حاول أن يثبت، كما اعتقد كوفمان، أن التطور الدارويني يحمل، بصورة طبيعية، الأوتوماتونات الخلوية إلى حافة الشواش. ويمكن اعتبار أوتوماتون خلوي كحاسوب. فإذا أعطي سلسلة أولية من واحدين وأصفار (السؤال)، فإنه سيحولها، وفقاً لجدول قوانينه الخاصة، إلى سلسلة خرج (الجواب). افتتن بيكارد بقانون الأتوماتون الخلوي، الذي اكتشفه علماء الرياضيات بيتر جاكس، وجي إل كورديوموف، وإل إيه ليفن، وله حوضا جذب. وإذا أعطي سلسلة عشوائية من أعداد ثنائية، فإنه سيميل أخيراً إلى الالتقاء عند واحد من نمطين، منتجاً سلسلة تتألف إما كلها من واحدين أو كلها من أصفار (الصورة ١٠-d). وقد لوحظ أنه إذا سقط أوتوماتون جاكس في حوض أو آخر، اعتمد، إلى درجة ما، على كثافة الواحدين في سلسلة الدخل، وسيقول ١١١١١١١١١١١١؛ وإلا سيكتب أصفاراً. ومع أن قانون جاكس بعيد عن الكمال، فإنه نفَّذ المهمة بما يكفي من الموثوقية إلى درجة حثت على الظن بأنه كان ينجز حساباً.

أراد بيكارد أن يعرف ما إذا كان قد استطاع أن يبدأ من نقطة انطلاق ويطور أوتوماتوناً خلوياً ينفذ مهمة قياس كثافة الواحدين في سلسلة دخل. إذا كان يمكن اعتبار النمط الذي ينتجه أوتوماتون كظاهرة وراثية له، عندئذٍ يكون نمطه الوراثي مجموعة القوانين التي تولِّد هذا السلوك. فلو بدأ بمجموعة عشوائية من هذه "المجينات،" المشفَّرة كسلاسل بتَّات، لحمل الحاسوب على اختبار مدى إجادة كل منها للقيام بمهمتها وتعيينها تقييماً للصلاحية. وستُزال تلك المجينات الأدنى صلاحية من البِركة وسيتبدل الباقي بواحدة من طريقتين (١) طفرة عشوائية، يُقلَب فيها بِتٌّ اعتباطياً إلى قيمته المقابلة؛ أو (٢) إعادة اتحاد جنسي، يجري فيها مقايضة جزء

---

[161] مقياس لانجتون من النظام إلى الشواش: Computation at the Edge of Chaos: Phase Transition And Emergent Comoputation -لـlangton، وفي Emergent Computation لـ Forrest.

[162] محاولة بيكارد لإثبات أن التطور يأخذ الأوتوماتون الخلوي إلى حافة الشواش في Dynamic Patterns in Complex Systems- تحرير A. S. Kelso، وA. J. Mandell، وM. F. shlesinger.

من مجين في سلسلة بجزء من مجين في سلسلة أخرى. ابتكر هذه التقنية لتوليد سلاسل البتَّات، التي تسمى خوارزمية وراثية، جون هولاند،[١٦٣] عالم الحواسب في جامعة متشجن وعضو الهيئة العلمية في معهد سنتافي، وطورها على مدى سنوات طلابه، بمن فيهم ميلاني متشل، العالمة في المعهد. وأعلن بيكارد أنه كما تطورت القوانين في حسائه البدئي، فإن بارامترات لامدا عندهم تميل نحو المدى المتوسط لمقياس لانچتون، من المفترض على حافة الشواش.

قبلت بعض الأوساط لفترة تجربة بيكارد باعتبارها دليلاً على وجود قانون طبيعي جديد: ميل أنظمة التعقيد للتطور إلى حافة الشواش. ولكن وفقاً لعلماء آخرين في المعهد، فإن النظام الذي ظن بيكارد أنه فهمه كان وهماً. ففي عام ١٩٩٣، قرر جيم كْرَتْشْفيلد، وميلاني متْشِل، والطبيب المقيم بيتر هاربر، إخضاع نظرية لانچتون لاختبارهم الصارم. وفي محاولتهم لتكرار تجربة بيكارد، اكتشفوا أن قيم لامدا الأوتوماتونات الخلوية التي سادت في الكفاح التطوري لم تضعها على حافة الشواش، إذا كان هناك فعلاً شيء كهذا. والواقع هو أن تلك الأوتوماتونات، وفقاً للمقياس الخاص بلانچتون، كانت غارقة عميقاً في نظام شواشي، على الرغم من أن سلوكها كان بعيداً عن الشواش. واكتشفت متشل وزملاؤها أيضاً أن قانون چاكس نفسه–أفضل قانون اكتُشِف حتى الآن لإنجاز مهمة تصنيف الكثافة–كان في نظام لانچتون الشواشي. واستنتجوا أنه بعيد عن أن يكون دليلاً على أن قدرة الأوتوماتون الخلوي الحسابية على علاقة باللامدا.

يصر لانچتون على أن كل ما أظهرته متشل وزملاؤها هو أن تجربة بيكارد الأصلية لم تكن اختباراً جيداً تماماً لأفكاره الخاصة. ويشير إلى أن القوانين التي تقيس ببساطة كثافة الواحدين في سلسلة دخل ليست معقدة بشكل بارز، ويقول إنه دُهِش لأن عمل بيكارد بدا وكأنه يوحي بأنها عاشت على حافة الفوضى. وعلى أية حال، يقول لانچتون إنه أبداً لم يقصد باللامدا أكثر من كونها أداة مفيدة تصور ميلاً عاماً بين الأوتوماتونات الخلوية– لا قانوناً دقيقاً ينطبق على كل أوتوماتون دون استثناء. وكلما كان حيز القانون أكبر، كان الاحتمال أكبر في أن القانون الذي يستنتج عشوائياً سينتج سلوكاً بسيطاً منظماً عندما تكون اللامدا منخفضة وسلوكاً عشوائياً عندما تكون مرتفعة. ويقول إن أحياز القانون في تجربة متشل ببساطة لم تكن كبيرة بما يكفي.

ولكن كَرتشفيلد انتهى إلى الاعتقاد بأن مشروع "حافة الشواش" بكامله مشكوك فيه، إلى حد أن حيز قوانين الأوتوماتونات الخلوية لا يمكن ليُّه إلى مُتَّصَل بسيط بين النظام والفوضى، بتعقيد يُدَس بشكل مناسب بينهما. ويشك بوجود أي شيء يشبه مقياساً دقيقاً، يقاس بشيء ما يشبه بارامتر اللامدا، يمكن لأي نظام أن يعيِّن نقطة عليه.

ويظن أن المشكلة هي أنه في دراسة الأوتوماتونات الخلوية، ينظر لانچتون، وكوفمان، وآخرون من خلال النظارات الخطأ، ويأخذون الأفكار من حقل ويطبقونها خطأ على حقل آخر. ففي دراسة الأنظمة الدينامية، هناك فكرة راسخة تماماً تسمى "بدء الشواش"[١٦٤] التي تصف، على سبيل المثال، طريقة إيقاع صنبور يقطر سيخضع

---

[163] وللمزيد من adaptation in Natural and Artificial systems -العمل الكلاسيكي حول الخوارزميات الوراثية هو كتاب جون هولاند ١٩٧٥، انظر المعالجة الحديثة An Introduction to Genetic Algorithms.

[164] من أجل "بدء الشواش،" انظر بحث ١٩٩٠ لكرتشفيلد وكارل يونج Computation at the Onset of Shaos في Complexity, EntropyK and the Physics of Information لـ Zurek.

لتضاعف الدورة، ليصبح أكثر وأكثر تعقيداً حتى لا يمكن تقريباً تمييز ضربته من العشوائية. وقد أثبت كُرَتْشْفيلد في وقت مبكر أن القدرة الحسابية تزداد في الأنظمة الديناميية عند بدء الفوضى، ولكن الأنظمة الديناميية متواصلة، وتتخذ مدى منتظماً من القيم؛ وتكون الأوتوماتونات الخلوية رقمية ومنفصلة. كان يشك في أنه يمكن بسهولة تطبيق أفكار نظرية الأنظمة الديناميية–تضاعف الدورة، الشواش، أحواض الجذب، وغيرها–على الأوتوماتونات الخلوية. فكان يمكن سماعه في أروقة المعهد يتشكى من أنه بالنفخ في بوق فضائل حافة الشواش، كان كوفمان ولانچتون يقتبسان الفكرة الأقدم ويشوهانها.

أوضح لانچتون بسرعة أنه يمكن محاكاة النظام المتواصل إلى أية دقة مرغوبة بواسطة نظام منفصل–هذه الحقيقة بالذات تسمح لنا، على سبيل المثال، بدراسة حركة النظام الشمسي. وكلما كانت حبة المحاكاة أكثر نعومة، كانت أقرب إلى تقليد نظام متواصل. فأوتوماتون خلوي بعدد لا محدود من الحالات سيكون نظاماً متواصلاً، بلون خلية يتفاوت بهدوء خلال كل الألوان الرمادية بين الأبيض والأسود. وكلما نقص عدد الحالات، تصبح الحبة أكثر خشونة، ويضعف التماثل. ولكن آثار السلوك المتواصل تبقى. ويحاول لانچتون أن يثبت أنه حتى في الأوتوماتونات الخلوية، بحالتيها البيضاء أو السوداء، تبقى هناك آثار لظواهر مثل تضاعف الدورة. ويحاول إثبات أن حافة الشواش هي ببساطة بقية بدء الشواش عند كُرَتْشْفيلد، وهي نوع من التناسق المهشم.

إن مسألة ما إذا كانت القدرة الحسابية للأوتوماتون الخلوي تزداد فعلاً عندما يقترب من الانتقال بين التعقيد والشواش ما تزال مطروحة للبحث. وهناك بحث آخر يدعم فكرة أن اختيار الضغوط يمكن أن يدفع أنظمة التطوير إلى الانتقال بين سلوك منظم ومختل.[165] ولكن ما إذا كان نظام ما منفصل أو متصل، فإن المرء يجب أن يتوقف ويتساءل: هل هذه الصفات التي نسميها منظم، وعشوائي، ومعقد هي صفات موضوعية للكون، أم إنها مجرد إسقاطات للعقل البشري؟

وبدلاً من المقياس البسيط الذي يتراوح من منظم إلى معقد إلى فوضوي، تخيل كرتشفيلد هرمية من الأدوات الحسابية لزيادة القدرة والتعقيد. إن مراقباً على إحدى هذه الدرجات، يدرس نظاماً على درجة فوقه، سيرتبك أخيراً بتعقيداته. ويمكن أن يكتشف المراقب نماذج وتلميحات لنظام، ولكن لا يمكن أبداً أن يفهم تماماً النظام الأكثر تعقيداً؛ بعض من سلوكه سيبدو دائماً عصياً على التفسير وعشوائياً. ولكن معالج معلومات أكثر قدرة، على درجة أعلى ويتطلع إلى أسفل، سيرى النظام نفسه كأنه حتمي؛ وربما أيضاً يراه تافهاً. فالتعقيد، إلى حد ما، موجود في عين المشاهد.

إن النماذج التي نبنيها والأنظمة التي نسعى إلى تفسيرها، يمكن اعتبارها كدرجات سلم مختلفة مشغولة. وفي النهاية، إن أفضل ما نستطيع أن نفعله هو مراقبة السلوك السطحي للنظام؛ ولا نستطيع أبداً أن نعرف تماماً ما يجري في الداخل. وبعدئذٍ نحاول أن نرسم خريطة ذلك السلوك على آلية من ابتكارنا الخاص–نموذجاً علمياً. فإذا صدف وكان تركيب الآليتين، النموذج والمُنمذَج، متماثلاً، عندئذٍ يمكن تصوير النظام موضوع البحث بشكل مدمَّج؛ وسيتراءى أنه يمتثل لقوانين بسيطة. وإذا كانت الشبكة ناقصة، فإن النظام يمكن أن يبدو نظاماً لا يُسبَر

[165] -إضافة إلى بحوث لانچتون، فإن البحث الذي يؤيد فكرة أن ضغوط الاصطفاء يمكن أن تدفع الأنظمة إلى نظام انتقالي بين سلوك نظامي أو مختل يشمل artificial life III في "evolution to the edge of chaos in an Imitation game، و Kunihiko Kaneko لـ Artificial Life I، و sonke Jonson، و Stuart Kaufman لـ Coevolution to the Edge of Chaos؛ و langton لـ.

غوره، يقاوم أي تمثيل بسيط. والمثال الجيد لهذا هو الطبيعة التبادلية للأمواج الجيبية والأمواج الدفعية (التي يمكن اعتبارها، بسبب أمد بقائها القصير إلى حد لا متناهٍ، كبِتَّات، وواحدين وأصفار). وكما رأينا سابقاً، فإننا نحتاج إلى عدد لا متناه من الأمواج الدفعية لكي نمثل تماماً موجة جيبية، والعكس بالعكس. إن المراقب الذي يستطيع أن يسجل لحناً بسيطاً في شكل أمواج جيبية–خطوط متعرجة في أخدود الاسطوانة الفونوچرافية–سيحصل على تمثيل مدمج إلى حد ما: التموجات على اللدائن مماثلة لتموجات الأمواج الصوتية التي تقوّس الهواء. ولكن إذا سجلنا اللحن رقمياً، كسلسلة بِتَّات، فإن التمثيل سيكون أطول إلى حد بعيد وأكثر تعقيداً فيما يبدو.

وما إذا كان شيء ما يبدو بسيطاً، أو معقداً أو عشوائياً، فإن ذلك يعتمد على المُراقب وأيضاً على الشيء المُراقَب. فلنفترض أننا اكتشفنا سلسلة بتَّات لتمثيل جزء من مسرحية *سانت ماثيو بيشِن*. ودون معرفة من أين جاءت السلسلة وبرنامج الترميز الذي استخدم من قبل جهاز التسجيل–ودون فكر مشغول بمصافي لتمييز النماذج في الداخل–سيبدو التسلسل معقداً، مطلسماً إلى حد ساحق، ربما لا يمكن تمييزه من الضجيج العشوائي الهائج. ولكن إذا لقَّمنا السلسلة إلى قرص الكتروني، مبرمج لاكتشاف النماذج الصحيحة لا غير، فإن الموسيقا ستنساب.

أو لنفترض أننا وجدنا تسلسلاً من الأرقام غير المنمذجة ظاهرياً، مخربشة على قطعة مجعدة من ورقة مذكرة على أرضية كازينو لاس ڤيچاس. وبسبب القرينة، يمكن أن نفترض أن هذا التسلسل هو خرج عشوائي لدولاب الروليت خربشه بسرعة لاعب على أمل أن يتغلب على النظام. ولدى تفحصه، يمكن أيضاً أن نكتشف ما يبدو دليلاً على انحراف في الدولاب: بعض الأرقام التي تظهر متكررة أكثر من غيرها. ولكن إذا قيل لنا إن الورقة سقطت من عالم رياضيات كان، عندما لا يلعب النرد، يدرس العلاقة بين الأعداد المتسامية، فإنه يمكن أن نتشاغل بمجموعات مختلفة من جيب، وجيب تمام، وظل الزوايا، وهلمجرا، حتى نكتشف صيغة تقترب من توليد السلسلة. وتُصرَف الاختلافات بوصفها ضوضاء خلفية سبَّبها إخفاق عرضي لعصبون أو مفتاح حاسوب سيء.

تحت تصرفنا الكثير من التمثيلات لرسم خريطة العالم. ويمكن أن نعتبرها كعدسات أو أجهزة ترشيح، كل منها يكسر العالم بصورة مختلفة قليلاً. فإذا راقبنا من خلال ترشيح واحد، فإن النظام الذي يبدو عشوائياً أو فوضوياً على السطح يمكن أن يبدي إشارات لأنظمة محجوبة–إشارة تُميَّز من الضوضاء، تعقيداً يكمن في الداخل. وعلى العكس من ذلك، إذا اخترنا جهاز ترشيح غير ملائم، فإن النظام نفسه يمكن أن يبدو بسيطاً إلى حد خادع؛ وكل شيء لا ينسجم مع نظريتنا لسلوكه يحال إلى صنف الضوضاء الخلفية. وكما بيَّن كرتشفيلد، فإن المراقب الذي يتمتع بقدرات حسابية محدودة لحساب نسبة الواحدين والأصفار في سلسلة، لن يجد اختلافاً بين سجل نقف قطعة النقد المعدنية والامتداد الثنائي لـ π. وكلاهما، في المعدل، يحتويان على عدد متساو من الواحدين والأصفار.

وبدلاً من اعتبار التعقيد كجوهر أفلاطوني ثابت يبدأ في وسط مقياس دقيق، ربما ينبغي أن نعتبره كعلاقة متغيرة دائماً بين المراقِب والمراقَب. والمعنى المتضمن، طبعاً، هو أنه قد لا يكون هناك نظام قانوني، موجود مسبقاً، منسوج في الكون، بانتظار أن يُكتشَف. فالأنظمة التي نقع عليها بالمصادفة، على الأقل جزئياً، تعتمد

على العدسات التي نستخدمها. فنحن نأخذ سلسلة بيانات، ونضعها على رسم بياني، ونعبث بالمقاييس والأبعاد، حتى نكتشف بالصدفة شكلاً، مقوساً، جاذباً. طبعاً، هناك بعض النقاط ستقع خارج تصميمنا المدرك، ولهذا نسميها خطأ تجريبياً، أي ضوضاء خلفية.

يُصِرُّ كرتشفيلد على أن هذه الرؤية المعادية للأفلاطونية، ليست مبرراً لنسبية تامة، التي تُعتبَر فيها نظرية واحدة جيدة كالنظرية الأخرى. ولنفكر بنظرية تتكون من قسمين: حساب يولِّد بصورة تقريبية النظام الذي كشفناه، وسلسلة أخطاء. ونجرب دائماً النظرية التي يمكن التعبير عنها بالحساب الأكثر إيجازاً (قوانين كبلر أكثر أناقة من قوانين بطليموس)، ولكن إذا أفرطنا في الضغط، فإنه يمكن ببساطة أن نولِّد سلسلة أخطاء أطول. ولكن إذا كان لدينا رَشَاش من النقاط على الخط البياني، فإنه يمكن ببساطة أن نربط النقاط، منتجين نموذجاً كبير التعقيد. أو نستطيع الإصرار على أننا نرى بساطة كبيرة: قطعاً زائداً أو قطعاً مكافئاً. نرسم خطنا، ونتخلص من البيانات التي تقع خارجه بوصفها خطأ عشوائياً. ويوافق كرتشفيلد على أن أفضل النظريات هي أكثرها إيجازاً، ولكن عند إجراء القياسات، يجب أن نضمنها ليس فقط حجم النظرية بل أيضاً حجم سلسلة الأخطاء. إن نظرية مفرطة التبسيط مع سلسلة أخطاء طويلة ستكون سيئة بقدر نظرية مفرطة التعقيد (خط بياني رابط للنقاط) مع سلسلة أخطاء بالغة الصغر.

عندما ندرس ما نقصده بالتعقيد، ندرك إلى أي مدى مراوغة هذه الفكرة في الواقع. ولدى التفكير بأسرار صالة البينچو في تيسوك، ندرك، في تعريف شيتن/كولموچوروف، مدى تعقيد العملية التي تقاس بحجم أصغر برنامج للحاسوب الذي يولِّدها. فالتسلسل ١٠١٠٠١١٠٠٠١١٠٠٠٠١١١ تقريباً أكثر تعقيداً من التسلسل ١١١١١١١١١١١١١١١١١١١١ لأنه أقل قابلية للانضغاط-يحتاج إلى حساب أطول للتعبير عنه. حتى الآن، هذا رائع! ولكن كما رأينا، بموجب هذا التعريف، إن سلسلة أعداد عشوائية تماماً، كتلك التي تطلقها مكنة البينچو، تكون أكثر تعقيداً، مثلاً، من امتداد π. والطريقة الوحيدة لتوليد سلسلة عشوائية تكون ببرنامج يقول: اطبع ما يلي بتسلسل كامل. يمكن توليد π بحساب بسيط يقسم عددين: محيط الدائرة وقطرها. وبموجب هذا التعريف، ستكون سلسلة عشوائة مؤلفة من مليون حرف وحيز أكثر تعقيداً من رواية تماثلها طولاً. يمكن ضغط الرواية باستخدام قواعد التهجي لترشيح الحروف الفائضة إلى الخارج: q يتبعه دائماً u؛ ويأتي i قبل e إلا بعد c. وسلسلة بتَّات عشوائية ستكون أكثر تعقيداً من برنامج حاسوب أو صورة رقمية للوادي الكبير، اللذين يمكن ضغط كليهما بإيجاد النماذج واستخراج الفوائض. إن الأشياء الأكثر انتظاما وقابلية للانضغاط هي أقلها تعقيداً؛ وأكثرها شواشاً هي أكثرها تعقيداً. ولكن هذا يتحدى الحدس بأن التعقيد هو توتر بين إمكانية التنبؤ والمفاجأة، بين النظام والعشوائية.

حاول بعض العلماء أن يتغلبوا على هذه المشكلة بأن وضعوا في اعتبارهم صعوبة توليد سلسلة بتَّات. واقترح سيث لُويْد والراحل هاينز پاجِلْز مقياساً يسمى العمق الدينامي الحراري: كمية الأنتروبيا التي تَفَرَّغ في البيئة كناتج ثانوي لعلمية الإنتاج. (يقترح موري جل-مان شكلاً مختلفاً قليلاً: تعقيد شيء ما يمكن قياسه بمدى ما يكلف صنعه من مال.) تصنيع خلية يستهلك طاقة أكثر من حساء عشوائي من الجزيئات نفسها. سلَّم لويْد بأن هناك

قيوداً للتعريف: القردة الضاربة على الآلات الكاتبة تنفق طاقة بقدر ما ينفقه روائي.

يفضل جل-مان مقياساً يسميه التعقيد الفعال.[١٦٦] لنتناول نظاماً ما، وليكن قواعد اللغة الانكليزية، مثلاً، ولنتخيل تمثيله المضغوط إلى أبعد حد-في هذه الحالة، حجم كتاب النحو أو النحو العقلي المشفَّر داخل رأس المتكلم المحلي. إن طول هذا الانضغاط، أو الرسم البياني، كما يسميه جل-مان، هو مقياس تعقيده. واللغات التي تكون قواعدها والاستثناءات لقواعدها أكثر تكون أكثر تعقيداً من اللغات التي تكون علوم نحوها أقصر. وفي العالم البيولوجي، تمتلك المخلوقات الأكثر تعقيداً المزيد من الرسوم البيانية الوراثية، والمجينات التي تشفِّر مدى أوسع من الأنزيمات والبروتينات الأخرى. بموجب هذا التعريف، لن يكون لنظام عشوائي رسماً بيانياً-إنه غير قابل للانضغاط-وهكذا يكون تعقيده صفراً. حتى الآن، الأمور على ما يرام. ولكن التعقيد الفعال له مشكلاته. فيشير جل-مان إلى أن مجينات قرد البابون والإنسان متماثلة تقريباً. ويبدو أن عدداً بالغ الصغر من الاختلافات الوراثية يفسر قدرتنا على الاتصال باللغة، واختراع أو اكتشاف العلاقات الرياضية، وبناء أنظمة لاكتشاف الكون.

يضع تشارلز بِنِت هذا في حسابه، فيقترح تعريف التعقيد باستخدام ما يسميه العمق المنطقي: عدد الخطوات الحسابية التي يقتضيها توليد بنية. يمكن أن يكون مجينان متماثلان طولاً، ولكن أحدهما يمكن أن يحتوي على قطعة قصيرة تعمل كبرنامج قوي يشغِّل الجينات التي تشغِّل جينات أخرى، التي تسبب الكثير من طبقات الانتشار. وتوليد سلسلة عشوائية لأعداد يقتضي فقط خطوة واحدة: اطبع ٢٣٣٧٢٩... إنها ضحلة منطقياً. وتوليد برنامج لحاسوب أو رواية يتطلب مستويات كثيرة من الرياضات الجمنازية الحسابية.

نعتقد بأننا نعرف التعقيد عندما نراه، ولكن نبذل جهدنا في التعريف. وكيف نخدع أنفسنا بسهولة. يقول برايِن أرثر،[١٦٧] عالم الاقتصاد في جامعة ستانفورد والراهب في معهد سنتافي، عن دراسة أعطى فيها العالم النفساني، جوليان فيلدمان، لأشخاص تجربته سلاسل عشوائية من واحدين وأصفار وطلب منهم أن يكتشفوا أنماطاً. "أشخاص التجربة يجب أن يصوغوا فرضيات-'أنتم تتابعون بصفر وواحدين،' أو 'أنتم بدأتم متوالية من واحدين وصفرين'-لبعض الوقت، وتتشبثون بها ما دامت تتنبأ بصورة جيدة،" كتب أرثر. "أخذوا بعين الاعتبار استثناءات كثيرة إلى حد ما: 'أنتم أعطيتموني الواحد لتضليلي.' ولكن إذا أُنجزَت فرضية الأنماط بشكل سيء خلال عدد من التنبؤات، فإنهم سيغيرونها أو يسقطونها لصالح فرضية مختلفة."

عرَّف جل-مان الخرافة بوصفها رؤية الأنماط غير الموجودة في الواقع-والإنكار بوصفه عدم رؤية الأنماط الموجودة في الواقع. والاتفاق حول الجانب من الخط الذي يجب أن نضع عليه بعض المبتكرات المفاهيمية لمعهد سنتافي ليس مهمة سهلة. ونُترَك إلى التساؤل إلى أي مدى تكون تجريدات كمشاهد ومقاييس الصلاحية التي تتراوح من النظام إلى الفوضى ميزات للكون وإلى أي مدى هي ابتكارات جذابة-أكثر تعقيداً من تقسيم العالم إلى روابيع متراكزة لهضاب وجبال تمتد من ثقب أرواح البويبلو، ولكنها إسقاطات مع ذلك.

يشعر معظمنا أن بعضاً من العالم البيولوجي يزداد تعقيداً إلى حد معاند. ويبدو أن هناك اتجاهاً، على الأقل

---

[166] -ورد وصف Effective Complexity لـ Gell-Mann من الفصل الثامن في the quark and the gaguar.

[167] -المواضيع يجب أن تشكل فرضية،" لآرثر، و "حول التعلم والتكيف في الاقتصاد،" بحث عمل في معهد سنتافي. العمل الذي يصفه نشر في "محاكاة حاسوبية للعمليات المعرفية لجوليان فيلدمان، وفي تطبيق حاسوبي في العلوم السلوكية، لهارولد بوركو، تحرير.

على كوكبنا، نحو تنوع أكبر للمخلوقات التي تكونت من تشكيلة أكبر من أنواع الخلايا. يمكن للمرء أن يطرح حججاً داروينية صارمة حول لماذا يحتمل أن يزداد التعقيد. هناك فائدة البقاء لمعالجة المعلومات، وربما تكون المخلوقات الأكثر تعقيداً قادرة على وضع خرائط أفضل. إذا كان كوفمان ولينچتون على صواب، فإن التعقيد يمكن أن يزداد بسبب ديناميات داخلية تدفع الأنظمة إلى شيء ما يسمى حافة الشواش. ولكن هل التعقيد يزداد بالضرورة بأية حال؟ أو أنه فقط يبدو بتلك الطريقة عندما نحدق من خلال مجموعة ضيقة من أجهزة الترشيح؟

إن شكل الحياة الأكثر نجاحاً من كل الأشكال، مقاساً بكتلة بحتة، لا يزال جرثوماً وحيد الخلية. ومن كل الفقاريات، أبدت فقط أقلية صغيرة جداً، بما فيها نحن، زيادة في حجم الدماغ. نسطيع أن نسرد قصص **جَسْت سو** حول لماذا ينمو الدماغ البشري بسرعة، ولكن ربما كانت مجرد ضربة حظ. فإذا كان ستيفن جاي چولد على صواب، فإننا اقتربنا إلى حد مخيف إلى لا وجود إطلاقاً.

في 'حياة مدهشة،' أعاد ستيفن چولد عقارب الساعة إلى الوراء ٧٥٠ مليون سنة واستحضر عصراً يسمى الانفجار الكَمْبَري، عندما بدأت تظهر أول المخلوقات المتعددة الخلايا، بعد أكثر من بليوني سنة من حياة وحيدة الخلية. يحلو لنا أن نعتبر أن الحياة التي بدأت بسيطة، ببضعة أنواع، نمت لتصبح أكثر تعقيداً، وتنوعت إلى حديقة الحيوانات التي نراها حولنا اليوم. ولكن الدليل الإحاثي يشير إلى أن العكس تماماً يمكن أن يكون قد حدث. فهناك في كولومبيا البريطانية، تُحتبَل، في الطين المتحجر لتشكل يسمى طين بورجِس الصفحي، حديقة حيوانات غريبة لبعض المخلوقات الأولى المتعددة الخلايا، الكثير منها مختلف جداً إلى حد تبدو معه أنها لا تنسجم مع أصنافنا التقليدية.

ويصنف البيولوجيون الحياة في هرمية، تبدأ بالطبقة الأكثر شيوعاً، طبقة مملكة (النبات، والحيوان، والفطور، وهلمجرا)، ويهبطون على طول الأقسام الأضيق تدرجياً من الشعبة، والطائفة، والنظام، والفصيلة، والجنس، والنوع. تتألف الشعبة، التي تقع مباشرة تحت المملكة، من عشرين إلى ثلاثين طبقة (هناك طرق مختلفة لتقسيم الحيويات)، متضمنة المفصليات (حشرات، عناكب، سرطانات بحرية)، والرخويات (الأسماك الصدفية، الحلازين)، والحبليات (كل الفقاريات،، بما فيها الزواحف، والأسماك، والثدييات، وطبعاً، النوع البشري). هذه، كما يعبر چولد بأسلوب مثير للذكريات، هي "المخططات الأساسية الأولية للتشريح،" [١٦٨] "الجذوع الرئيسة لشجرة الحياة." واتجه العلماء على مدى قرون إلى اعتبار أن هذه الطبقات ثابتة، وكأن مخلوقات الأرض كانت تشغل مذعنة مربعات جدول بياني أثيري في سماوات أفلاطونية. وبعد تشارلز وَالكوت، رئيس المعهد السميثسونياني، الذي اكتشف طين بورجِس الصفحي، قضى باقي حياته يحشر ("يقحم" هي كلمة چولد) المخلوقات الغريبة المحتبلة في الطين القديم في الطبقات التي تخيلها العلم سلفاً. ولكم هي غريبة المخلوقات التي كانت هناك: الأوپيبينيا opapinia، بأعينها الخمس (أربعة منها، على الأقل، على سيقان) وخرطومها الأنبوبي الذي ينتهي بمخلب؛ والأودنتوجريفوس odontogriphus، الـ "غربال المسنن،" بفمه المحاط بنتوءات سنية التي يمكن أن تكون قد شكلت قاعدة لمجسات؛ والأكثر غرابة من كل هذا، الهَلوسيجينيا hallucigenia، بجسمها الأنبوبي المزود بسبعة أزواج من الأعمدة الفقرية الشائكة، المزودة بسبعة مجسات طويلة مزودة بكلاَّب، وكفكرة تلوية،

168- "في التصاميم القاعدية الأساسية للتشريح" إلخ : حياة مدهشة، لـ چولد.

تنتهي من نهاية واحدة بستة مجسات إضافية أقصر. أية نهاية؟ لا ندري. والهلوسيجينيا مخلوق غريب جداً إلى درجة أنه لا يُعرَف صدره من ظهره، فوق أو تحت.

وفي مطلع سبعينيات القرن الماضي، كان واضحاً للجيل الأصغر من العلماء أنه لا كمية من المط ستتسع لكل هذه الحيوانات. وفي النقطة الأكثر أهمية في كتابه، يروي جولد كيف أدرك ببطء حقيقة أبطاله، هاري وِتِّچْتون، وسيمون كونواي موريس، وديرِك بريچز، إلى درجة أن الكثير من حيوانات بورجِس كان يمكن اعتبارها تمثيلاً لعشائر جديدة كلياً، أي مخططات أساسية لأجسام لم تعد موجودة. ويقدِّر جولد أنه منذ نصف بليون سنة، أي في عصر الانفجار الكَمْبَري، هناك خمس عشرةِ إلى عشرين عشيرة لا نجدها اليوم. وهناك سبب وجيه لهذا الانطباع. فالاستقراء من الانطباعات ذات البعدين إلى المخلوقات ذات الأبعاد الثلاثة مسألة مخاتلة، كمحاولة فصل العمق عن السطح المستوي للسماء. وفي حين كان الظن بأن مجسات الهلوسيجينيا يمكن أن تمثل سبعة أفواه مختلفة، رأى جولد على مضض أن ما يبدو حيواناً غريباً إلى حد مدهش، يمكن أن يكون في الواقع قطعة من زائدة لمخلوق أكبر أقل تشويقاً.

بعد الانفجار الكمبري جاءت الإبادة الكمبرية، التي تقلصت فيها وفرة الحياة إلى مجموعة دنيا تشغل الكوكب اليوم. لماذا فشل الكثير من هذه التجارب التطورية المبكرة؟ في الرؤية الداروينية، كانت تلك المخلوقات الباقية هي الأصلح؛ فقد برَّت في المنافسة تلك المخلوقات ذات المخططات الجسدية الأقل فعالية. ولكن جولد يرى أننا نتملق أنفسنا وزملاءنا الحيوانات إلى الاعتقاد بأننا نستحق أن ننجح أكثر من الهلوسيجينيا والأوپيبينيا. وعندما تمعن، هو وزملاؤه، في مستحاثات بورجِس وتخيلا كيف كانت الحياة آنذاك، لم يجدوا مبرراً للقول إن الرابحين كانوا بالضرورة أصلح من الخاسرين.

طبعاً، يمكن دائماً أن ينغمس المرء في تفكير دائري، يتفحص الناجين، ويؤلف قصص **جَسْتْ سو** حول لماذا يجب أن تكون صفات معينة قد أدت إلى سيطرتهم. ولكن إذا تحولت التيارات وولدت مخلوقات كالهلوسيجينيا عشائر كاملة، عندئذٍ يمكن بالسهولة نفسها تأليف قصص حول لماذا كان نجاحها حتمياً. وعلى العكس، يعتقد جولد أن الإبادة الكمبرية كانت مسألة حظ. فقد اختير الناجون بصورة عشوائية. في الواقع، يغامر جولد، عند نهاية كتابه، بالقول إنه لو لم تُتَح الفرصة لمخلوق معين يشبه الدودة، يسمى بيكايا چراسيلنز pikaia gracilens، للبقاء بعد الإبادة، لهلكت عشيرة الكورداتا chordate مع الهلوسيجينيا، وانعدمت إمكانية وجود الفقاريات. وبدحرجة مختلفة لزهر النرد، يمكن أن تكون قد بقيت مخططات أجسام مختلفة، ليس بينها تلك التي نسلِّم بها جدلاً. ويقول إن الحالة لا تختلف عن حالة الفيلم السينمائي 'إنها حياة مدهشة'، الذي يعطي فيه ملاك الميلاد جورج بيلي اليائس الفرصة لرؤية كيف كانت بلدته الصغيرة ستكون لو لم يكن قد بقي على قيد الحياة.

يكتب جولد، "النظام الحديث[١٦٩] لم يكن مضموناً بالقوانين الأساسية (الاصطفاء الطبيعي، التفوق الميكانيكي في التصميم التشريحي)، أو حتى بالعموميات الأدنى مستوى لعلم البيئة ونظرية التطور. والنظام الحديث هو، إلى حد بعيد، ناتج المصادفة. وكما بِدْفورد فولز مع جورج بيلي، فإن للحياة تاريخاً حساساً قابلاً للانحلال، ممتعاً

[169] -"النظام الحديث": المصدر نفسه ص ٢٨٨-٢٨٩.
"محتم واقعياً" إلخ: المصدر نفسه، ص ٢٨٩.
"ما إذا كان الأصل التطوري": المصدر نفسه، ص ٢٩١.

لنا بوجه عام لأننا أفلحنا في النشوء، فقط منذ دقيقة جيولوجية مضت. ولكن، على غرار باترزفيل دون جورج بيلي، فإنه لو حدث، عند البدء، أي تكرار لعزف الشريط، وتبدل بذرَّة أو هباءة مهمة ظاهرياً، لأعطى نتيجة مماثلة، حساسة وقابلة للتحلل لشكل مختلف كلياً، ولكن معظمه لا يرضي خيلائنا في غياب الحياة الواعية للذات....

"لم يعمل [الـ] بورجِس فقط على عكس أفكارنا العامة حول مصدر النمط-حتى إنه يملؤنا بنوع جديد من الدهشة (أيضاً بانفعال شديد لعدم احتمالية الحدث) من حقيقة أن بني البشر لم يتطوروا في أي وقت إطلاقاً. وصلنا إلى هذا الممر (ضع إبهامك على بعد مليمتر واحد من سبابتك)، آلاف وآلاف المرات، للانمحاء عن طريق توجيه التاريخ نزولاً إلى قناة أخرى حساسة. وإذا أعدنا عزف الشريط مليون مرة من بداية بورجِس، فإنني أشك بأن أي شيء سيتطور مرة أخرى كإنسان عاقل. إنها، في الواقع، حياة مدهشة."

ولكن إذا لم نكن نحن، فهل هناك مخلوق آخر تطور حتى أصبحت جملته العصبية معقدة جداً إلى درجة أنها طورت وعياً ذاتياً وشعوراً؟ چولد يشك في ذلك. ولكن يسلِّم بأن نمو الحياة وتطورها لم يكونا نزهة عشوائية تماماً، وأن نشوء نوع ما من الحياة كان "في الواقع حتمياً، على ضوء التركيب الكيميائي للمحيطات والأجواء المبكرة، والمبادئ الفيزيائية لأنظمة التنظيم الذاتي." وعندما كانت الحياة تمضي قدماً، يقول معترفاً بالقيود الفيزيائية-"عملت قوانين البناء والتصميم الجيد" التي تعتمد على قوانين السطوح والحجوم وغيرها-على توجيه التطور بقنوات في اتجاهات معينة. ويعتقد أنه "يمكن أن نتوقع تناسقاً ثنائي الاتجاه عند المتعضيات المتحولة التي نشأت عن طريق الانقسام الخلوي." ولكن هذه "القنوات واسعة جداً نسبة إلى التفاصيل التي تسحرنا!" ويقول إن المسألة هي أين يجب أن نرسم الحد بين هذه القوانين الخلفية والتفاصيل. يضع چولد الشُّعَب الحديثة، بما فيها الفقاريات، بين التفاصيل، ويختتم: "ببساطة، لا أعرف ما إذا كان الأصل التطوري للذكاء الواعي للذات في أي شكل يقع فوق أو تحت الحد. وكل ما يمكن أن نقوله هو أن كوكبنا لم يصل أبداً في أي وقت مضى إلى الممر مرة ثانية."

ويذكِّرنا بأن هناك أكثر من طريقة واحدة يستطيع المخلوق فيها أن يحل المشكلات التي تطرحها "قوانين البناء والتصميم الجيد." فعلى سبيل المثال، عندما تنمو المخلوقات لتصبح أكبر، يترتب عليها أن تضمن أن لا تكون أي من خلاياها قريبة من السطح، مصدر الهواء والغُذَيَّات الأخرى. يزداد الحجم (مكعب الطول) بسرعة أكبر من سرعة باحة السطح (مربع الطول)، وهكذا يجب أن تكافح الخلايا باستمرار لحماية نفسها من الاختناق. والمتعضيات في عالمنا، تحل هذه المشكلة بالانطواء نحو الداخل، مما يزيد التعقيد الداخلي: تُبطَّن الرئتان بكيسات صغيرة تسمى الأسناخ، والمعى بالزغب. يقول چولد إنه كان هناك، قبل انفجار بورجِس بمئة مليون سنة، نوع مختلف جذرياً لمخلوق متعدد الخلايا حل مشكلة نسبة الحجم إلى السطح بطريقة مختلفة تماماً. فبدلاً من زيادة التعقيد الداخلي، راحت مخلوقات الفونا fauna التي سميت إدياكرا Ediacara، باسم الموقع في استراليا الذي وجدت فيه مستحاثاتها لأول مرة، تنمو إلى حجم أكبر ببسط نفسها إلى صفائح وشرائط وفطائر مسطحة رقيقة، تضمن دائماً أن تكون خلاياها ليست بعيدة جداً عن المحيط. وكانت إدياكرا الفونا تقليدياً تعتبر سليفات لذلك الذي تطور فيما بعد إلى نوع من المخلوقات المطوية إلى الداخل في طين بورجِس الصفحي، أي

أشباه الإنسان والديدان الحَلَقية. ولكن چولد يتحدث عن تفسير بديل: ربما كانت الإدياكرا تجربة فاشلة، لا صلة لها بالمخلوقات اليوم. وبسبب حادثة ما عشوائية، ماتت هذه المخلوقات قبل أن تنتشر إلى كل مكان في العالم، مالئة البيئات التي خلقتها التعددية الخلوية. ماذا لو سقط زهر النرد بطريقة مختلفة؟ فيقول چولد إنه إذا عُزِف الشريط من جديد وسادت الإدياكرا بدلاً من فونا بورجِس، فإنه من المرجح أن المتعضيات ذات الأعضاء الداخلية ما كانت أبداً لتتطور–لا قلوب، لا رئات، لا أكباد، والأكثر أهمية، لا أدمغة.

ولكن إذا كانت التعددية الخلوية والحيوانات المنطوية إلى الداخل قد ظهرت، أما كان يجب أن يكون الوعي حتمياً؟ يطلب منا چولد أن ندرس الديناصور. ونميل إلى الظن بأن الثدييات، بزيادة ذكائها، تغلبت على الزواحف العملاقة. وفي الواقع، كانت الثدييات، في معظم حكم الديناصورات، مخلوقات صغيرة، بقيت لأنها استطاعت أن تحفر جحوراً وتختبئ تحت أرجل السحالي الثقيلة الحركة. ولم تبدأ بالنمو إلى أجسام أكبر وأدمغة أكبر قبل أن وقع حادث صدفة وأهلك الديناصورات، وخلت البيئة لفقاريات كبيرة. والقصة المفضلة اليوم حول موت الديناصورات هي أن تصادماً خارج نطاق الأرض أو جوها، ربما في يوكاتان Yucatan، أوقع الفوضى في أنماط الطقس بشدة، وتسبب في شواش المناخ. وفي محاضرة في معهد سنتافي، قدَّر بطل هذه النظرية، وولتر ألڤيريز[١٧٠] (اعتماداً على ما إذا كان النيزك أو المذنب الذي يتحرك مع أو ضد حركة الأرض) أن اختلاف دقائق أو ثوانٍ يمكن أن يكون حمله على الهبوط في المحيط، الذي أخمد صدمته. كان يمكن أن تنجو الديناصورات وتبقى الثدييات شيئاً مزعجاً. وعندئذٍ روَّع الحضور بأداء فنان لشبيه بشر زاحف–رؤية التطور لـ *رحلة نجم*. ولكن في ‘حياة مدهشة’، يقدم چولد احتمالاً مختلفاً. ليس هناك دليل على أن دماغ الديناصورات كانت خلال حكمهم تنمو إلى حجم أكبر. فكان يبدو أنها مرتاحة في بيئتها، والمبرر ضئيل لديها لتطوير المزيد من الذكاء. ويسأل، "هذه الحالة التي سادت على مدى مئة مليون سنة،[١٧١] لماذا لم تسد على مدى ستين مليون سنة إضافية؟" فلا تصادم خارج نطاق الأرض أو فضائها، ولا تطور للوعي. "بالمعنى الحرفي تماماً، نحن مدينون بوجودنا، بوصفنا حيوانات كبيرة وعاقلة، إلى حسن طوالعنا." وهكذا يمكن يوماً أن ندين لها بفنائنا.

170-محاضرة ألڤيرز في معهد سنتافي في ٢٦ شهر آب ١٩٩٣.

171-"هذه الحالة سادت" إلخ: چولد، ‘حياة مدهشة’ ص ٣١٨.

قفزة إلى المجهول

كل عام، خلال أسبوع الآلام، يصبح الكتف الشرقي للطريق العام الذي يتجه شمالاً من سنتافي ممراً للمشاة، بوصفهم حجاجاً من كل أنحاء الريف يبدؤون رحلتهم السنوية الطويلة الشاقة بعربات تجرها الثيران إلى قرية شِمِيو،[١٧٢] التي تعتبر مكان الشفاء الخارق–لوردز أُفْ أميريكا. يبدو معظم الرحالة غير غرباء بما يكفي، لا يختلفون عن الناس الذين يمكن أن نراهم يتسوقون يوم الأربعاء في مول ڤيلا ليندا جنوب سنتافي أو في وِيل–مارت في سيريوس رود، وهو شارع المدينة التجاري. ولتنبيه سائقي الدراجات النارية إلى وجودهم، يرتدي بعضهم ألوان داي–چلو فاقعة جداً ويحملون مصابيح ومضية أو مشاعل ضوئية كيميائية خضراء تزودهم بها شرطة الدولة. فقط أحياناً يرى المرء إشارة إلى أن هذه أكثر من نزهة بعد ظهيرة أو جولة لجمع المال من أجل مرض ما، إنه موكب ديني ماضٍ قدماً. البعض من جماعات المشاة يحمل رايات مزخرفة لكنيستهم أو منظمتهم الدينية، مرفوعة كأشرعة تعترض نسائم الربيع. وآخرون يرفعون في مقدمتهم مصلوبين. وأحياناً يرى المرء حاجاً يحمل على كتفه صليباً خشبياً كبيراً، وكأنه يقلد المسيح وهو يجر نفسه صاعداً جبل الجلجلة.

في البداية، يكون التدفق مجرد مسيل هزيل. ولكن ما أن تقترب الجمعة الحزينة، حتى يصبح طوفاناً. يبدأ الموكب في سنتافي، أو نقاط على امتداد الطريق، ويسير الحجاج شمالاً، متجاوزين أوبرا سنتافي، التي ستبدأ في غضون بضعة أشهر موسماً آخر للموسيقا تحت النجوم؛ وسوق فْلي جاك للتجار بنخبة فنونه الهندية الزائفة ومعدات عصره الحديث؛ وقرية تيسوك وصالة البنچو فيها، حيث يحملق الجمل بالموكب بنظرته المحدِّقة التأملية.

بعد خمسة عشر كيلومتراً من سنتافي، يصل الحجاج إلى قرية پاجيوك بساحتها المركزية للتسوق. هنا يتفرع الطريق إلى ثلاثة طرق. إلى اليسار مسلك إلى قرية سان آيْدِفونسو ولوس ألاموس، مدينة العلم. وإلى الأمام مباشرة، الطريق الذي يساير مجرى نيو چراند شمالاً إلى تاوس. وإذا تجاهل الحجاج هذين الطريقين البديلين، فإنهم يسلكون الفرع الأيمن، وهو طريق متعرج ذو مسلكين يؤدي صعوداً إلى جبال سانچر دو كريستوس وجبال أخرى في العوالم المعزولة تقريباً لنيومكسيكو. على مدى الأميال القليلة الأولى، يساير الطريق العام الضيق مجرى نهر نامب، في اتجاهه نزولاً من المنابع الباردة عند قاعدة ليك پيك، الحد الشرقي لعالم التيوا. ومباشرة قبل الدخول إلى قرية نامب، يترك الطريق وادي النهر الأخضر، لينحرف شمالاً عبر المشهد المُنْحَتِّ الأحمر الذي يبدو، باستثناء الصلبان الخشبية البيضاء على هضابه وقمم تلاله، كالصور التي التقطتها سفينة الفضاء ڤويْجَر للمريخ. وبعد عبورهم هذه الأرض اللادنيوية، يصل الحجاج أخيراً إلى نقطة، تبعد حوالي خمسة وعشرين ميلاً عن بداية رحلتهم، حيث يستطيعون أن يتوقفوا وينظروا نزولاً من فوق تل شاهق إلى غايتهم: واد آخر أخضر، حيث تقع قرية شِمِيو.

---

[172] انظر من أجل تاريخ شِمِيو ومذبحها، Elsantuario de Chimayo لـ Stephen de Borhegyi، و Chimayo Valle Traditions.

وبزحفهم نزولاً على آخر منعطفات الطريق العام، يتوجهون إلى كنيسة مبنية من الطوب، وسقف من الصفيح وبرجين يسميان سنشوريو دو شِمِيو، وهو مكان حدوث المعجزات، كما يقال. يسيرون في رتل إلى ما بعد شواهد القبور في الفناء، ويدخلون الباب المزدوج الذي يؤدي إلى صحن الكنيسة والمذبح، المزخرف بألواح خشبية (تسمى ريتابلوس) والتماثيل (بَلْتوس) التي نحتها سانْتِروس الجبال تكريماً لمريم والقديسين. يتوقف الزائرون قرب المذبح، بمصلوبه العالي، ويرسم كل منهم إشارة الصليب ويتمتمون بصلواتهم. وبعدئذٍ ينعطفون يساراً، لعبور المدخل الذي يؤدي إلى غرفة المقدسات، حيث تُعرَض مجموعة الآثار المقدسة للكنيسة.

مباشرة قرب غرفة المقدسات، وفي غرفة جانبية مظلمة صغيرة جداً، يقع موضوع احترامهم. فمن خلال مدخل صغير جداً يمكن أن يكون فوهة كهف، يدخل الحجاج الواحد تلو الآخر. وفي الداخل، حفرة أرضية منحوتة في الأرض، هي التي أعطت شِمِيو شهرتها. يجثم الزائرون أمامها لأداء صلاة أخرى قصيرة ويتناولون قبضة من التربة الخارقة التي تشفي كل الجروح، كما يقال. البعض يفرك الأعضاء المبتلاة بالتراب أو يمدون أيديهم بحذر داخل قمصانهم لتطبيقه على الصدر، أو يأخذونه إلى البيت لمزجه بالماء أو الطعام لمعالجة العلل الداخلية. وفي كل مكان حول غرفة المقدسات، معلقة عكاكيز وسنادات أولئك الذين يقال إن حققوا الشفاء. وترك آخرون رسائل، تقول كيف أن التراب المقدس شفى قرحة أو دمر ورماً كان قد استعصى تلطيفه على التشعيع أو المعالجة الكيميائية. وفي الوقت الذي تحل الجمعة الحزينة، يصل عدد الزائرين إلىالآلاف، ويعاد ملء الحفرة مراراً بالتراب الذي يُنقَل إليها من مكان خاص تحت التل المجاور لنهر سانتا كروز.

وبعيداً، على الجانب الآخر من وادي ريو جراند، تقع مختبرات لوس ألاموس،[173] المأهولة بأناس مدفوعين بالبحث عن القانون الطبيعي. فإذا كانوا بأية حال يؤمنون بإله، فإنه يحتمل أن يكون الإله الذي اخترع القوانين، التي وطدت التناسقات، ثم ترك الكون يتفتح بنفسه، رياضياً. وعندما يُواجَهون بما يقال إنه معجزة، فإن هؤلاء العلماء سيحللونها، ويبحثون عن طريقة لتفنيدها أو تبريرها، ويستوعبونها في نسيج القوانين التي يؤكدون ولاءهم لها. في أواخر سبعينيات القرن الماضي، صوبت جماعة صغيرة من العلماء في لوس ألاموس آلاتها المعقدة للتحليل على كفن تورين بوصفه جزءاً من مسعى عالمي لإثبات صحته. ومع أن بعض الباحثين كانوا كاثوليكيين، ويتطلعون إلى إثبات أن الأثر المقدس هو فعلاً كفن دفن يسوع، فإنهم أذعنوا أخيراً لحكم العلم: دل تحديد تاريخ الكربون ١٤ والاختبارات الأخرى على أن القماش، الذي احتُرِم على مدى قرون، كان من تزوير العصور الوسطى.

إن التفسير الأبسط لشهرة شِمِيو هو التفسير الذي يمكن أن يعتبره باحث في الطب الأحيائي أقل احتمالاً: التراب يتمتع فعلاً بقدرة على شفاء طيف واسع جداً من العلل. ويقول الشكوكيون إن التحليل الدقيق للمعطيات سيُظهِر بالتأكيد أنه ليست هناك شفاءات ولا يمكن عزوها إلى ضربة حظ إحصائية، تأثير الدواء الغفل، مثلاً، أو أوهام نفسية الجمهور. فإذا كان الناس يؤمنون بمعجزة شِمِيو، عندئذٍ سيعزى أي تحسن عارض في صحتهم إلى قدرة التراب المقدس. وأي فشل سيجد له تبريراً. وتبعاً لسلسلة من الأحداث التاريخية، من السهل الافتراض أن الناس يمكن، بدلاً من ذلك، أن يندفعوا أفواجاً إلى بلدة مجاورة–كنديِيُو أو كْوايْمونْچ–لتكريم صخرة شاذة

[173] إن قصة دور لوس ألاموس في دراسة Shroud of Turin وردت في Shreds of Evidence لـ Cullen Murphy.

الشكل أو شجرة أسطورية. ويبحث بعض المؤمنين الدنيويين عن مبرر لشِمِيو في رميات زهر النرد، أي مصادفات التاريخ.

ولكن لا بحث، ولا احتكام إلى قانون علمي، سيزحزح معجزة شِمِيو من قلوب الكثير جداً من النيو مكسيكيين. فسنشوريو شِمِيو هو مكان لأولئك الذين يعتقدون بأن القوانين هي، كأي شيء آخر خلقه الله، يمكن أن تتوقف مؤقتاً، إلى درجة أن أشياء استثنائية يمكن أن تحدث، وهذه مسألة يمكن فقط للمؤمن أن يدركها.

يقول البعض إن معجزة شِمِيو سابقة لوصول الاسبان في القرن السادس عشر، وكان هنود التيوا، قبل أن يضع أول القسس الفرنسسكان قدمهم في الوادي، يأتون إلى شِمِيو طلباً للشفاء. ووفقاً للميثولوجيا المحلية، فإنه عندما قتل الهيرو توينز واحداً من الوحوش الغريبة التي كانت تجوس الأرض المبكرة، انبثقت من الأرض نار ومياه حارة في عدة أمكنة: الهضبة السوداء في آيدلفونسو، وقمة كابِزِن على أرض نڤاجو، وشِمِيو–تسيمِيو، كما يسميها التيوا، "مكان السَّبَج[١٧٤] الجيد." وخمدت النيران، مخلفة بركة، جفت لتشكل غباراً يتمتع بقدرات شفائية. وببناء مذبح في الموقع، تبنى الكاثوليك السحر الهندي القديم على أنه سحرهم الخاص.

ويسرد أحفاد المستعمرين الأسبان قصة مختلفة. فيقولون إن الموقع اكتُشِف عام ١٨١٣، أثناء أسبوع الآلام، من قبل برناردو أبيتا، زعيم التوابين الذي كان مستقراً في التلال، يجلد نفسه عقاباً على خطاياه، عندما رأى نوراً يشع من الأرض. ولدى الحفر في ضفة نهر سانتا كروز، اكتشف مصلوباً متوهجاً. وشكل شعب شِمِيو المبتهج موكباً، حمل الصليب إلى الكنيسة الأبرشية، نزولاً إلى قرية سانتا كروز، ووضعه على المذبح. وتبيَّن في اليوم التالي أن الصليب قد اختفى. ففي تحدٍّ لقواعد وأنظمة القانون الطبيعي، نقل نفسه بشكل غامض إلى الحفرة في شِمِيو، حيث كان قد اكتُشِف. وتشكل موكب آخر لإعادة الصليب إلى سانتا كروز، ولكن مرة أخرى سبح في الهواء عائداً إلى مكانه الأصلي. وتقول الأسطورة إنه بعد اليوم الثالث فهم الناس ماذا كان الصليب يحاول أن يقوله لهم: إنه يخص شِمِيو. فبنى أبيتا كنيسة صغيرة للصليب، وقدم عريضة للأبرشية الأسقفية يطلب فيها السماح له ببناء كنيسة. ولأسباب تبقى غامضة، حدد أن الكنيسة، سنشوريو اليوم، ستكرِّم صورة المسيح التي أشار إليها بوصفها إلهنا في إسكويبولِس.

حتى اليوم، لا أحد يعرف لماذا اختار أبيتا هذا الاسم. فإسْكويبولِس قرية مايانية في چواتيمالا، على بعد حوالي ألفي ميل. وكانت قد بُنيَت هناك كنيسة مستطيلة عام ١٧٥٩ تكريماً لتمثال يسمى المسيح الأسود، وهو مصلوب محفور من خشب البلسم الأسود، ربما مراعاة للسكان المحليين السمر الذين كان الكاثوليك يحاولون قهر آلهتهم. وإسكويبولِس أيضاً كانت تُكرَّم بوصفها مكان شفاء، ففي الخامس عشر من شهر كانون الثاني من كل عام، يقوم الناس من الريف برحلة حج إلى البلدة. ويعود الكثير منهم بألواح من الطين، مطبوعة بصور مقدسة، فيأكلونها أو يحلونها في الماء لمعالجة البلاوى والأمراض.

إن العقل، عندما يواجه مثل هذا التوافق الغريب، يحاول أن يفرض قصة معقولة، لتفسيره في نطاق العلة والمعلول. الاحتمالات ضئيلة إلى حد التلاشي في أن تُكرَّم القدرات العلاجية للتراب في قريتين متباعدتين ويصدف أن تكون كلتاهما باسم إسكويبولِس– إسكويبولِس حقيقية، أو قديسة أو روح، تتظاهر في أجزاء مختلفة

---

[174] -الزجاج البركاني الأسود-المترجم.

من العالم. وهكذا، نحن نبحث عن قناة يمكن أن تتدفق المعلومات خلالها إلى شطريْ الكوكب. إسكويبولِس كُرِّمَت في أجزاء من المكسيك. وربما كان برناردو أبيتا قد زار واحدة من هذه البلدات، أو حتى قرية جواتيمالية نائية، أو سمع عنها من رحالة أو كاهن. وربما أيضاً كان يعرف من أسطورة التيوا عن سحر شِمِيو وأُلهِم إلى ربط القصتين مع بعضهما بعضاً. أم أن ذلك حدث بطريقة أخرى؟ ربما سمع هنود البويبلو القصة في وقت لاحق من أبيتا، وتمثلوها ارتجاعياً إلى خرافاتهم الخاصة. فوفقاً لأسطورة سجلتها في قرية آيلِزا الأنثروبولوجية إلزي كلوز پارسونس، فإن هندياً، وليس اسبانياً، هو الذي اكتشف رأساً صغيراً بارزاً من الأرض في شِمِيو. وحمله إلى سنتافي، لا إلى سانتا كروز، ولكن ثابر على العودة إلى الموضع قرب النهر. وراوية پارسونس–الذي صدف أن كان أيضاً اسمه أبيتا–هو الذي سمى الرأس إسكِبيولا.[175]

لَكَم نحن خبراء في نسج القصص لتفسير العالم وفقاً لما نعتبره عزيزاً أكثر! فأسطورة شِمِيو تتشوش أكثر بالظهور المتأخر لمنافس لإسكويبولِس: سانتو نينيو دو آتوشا، وهو تَجَلٍّ لطفل مقدس قيل إنه يمشي مع الوادي ليلاً لشفاء الأطفال المرضى. ففي منتصف القرن التاسع عشر، تم بناء كنيسة لسانتو نينيو قرب المذبح، لإغراء بعض الزائرين الذين تجذبهم أسطورة إسكويبولِس. ويُكرَّم سانتو نينيو في الكثير من أنحاء المكسيك، وبوجه خاص عند ضريح في فرنسنيلو في ولاية زيكاتِكِس. وأصبحت الكنيسة الجديدة في شِمِيو مشهورة جداً، بحجاجها الذين يحملون الهدايا المؤلفة من أحذية الأطفال التي زُعِم أن الطفل يُبليها في جولاته الليلية، إلى حد أن أسرة أبيتا حصلت على طفلها المقدس ووضعته على مذبح قرب حفرة التراب الشافي. وقبل مضي وقت طويل، تطورت الأسطورة إلى أن تمثالاً صغيراً كان قد اكتُشِف من قِبَل بنت صغيرة وأبيها، بعد أن سمعا جرساً يُقرَع تحت الأرض، ففتحا حفرة ووجدا الطفل المقدس، الذي كان يتمتع بالقدرة على الشفاء. وبمرور السنين، تداخلت أسطورتي إسكويبولِس وسانتو نينيو إلى حد أصبح صعباً معه التمييز بينهما. ومعظم الحجاج الذين يجمعون اليوم عينات التراب الخارق ينسبون قدراته إلى الطفل المقدس.

وبدافع لا ينتهي أبداً لجلب نظام إلى العالم، تتصادم باستمرار القبائل المختلفة للبشرية مع بعضها بعضاً، مواجِهَة أنظمة مختلفة، شبكات تفسير تُسلَك مع بعضها بعضاً وفقاً لافتراضات مختلفة. وأحياناً تحاول قبيلة التخلص من المنافسة بمحو الكفار، الذين يخوضون حرباً مقدسة. وأحياناً يحاول الناس تمثل الديانة الأخرى في ديانتهم. فهل استمد الاسبان أسطورة شِمِيو من التيوا؟ أم كان التيوا، الخبراء جداً في استيعاب الآلهة الجديدة في هياكلهم الدائمة التوسع، هم الذين تبنوا سحر الاسبان؟ ربما لن نعرف أبداً. وبطرح هذا النوع من السؤال، نكشف محاولتنا الخاصة لاستيعاب أسطورة شِمِيو في إطار يجب أن تسود فيه دائماً التفسيرات المعقولة. وكلما جوبهنا بغامض، فإننا نبذل جهدنا لفرض قصة تجعله مفهوماً، بلغة ما نعتبره أساسياً–سواء كانت قدرة الثالوث الأقدس، أو قدرة سحاب التيوا، أو قدرة قانون طبيعي.

عندما نغادر وادي شِمِيو، ونتوجه صعوداً نحو الجبال العليا، حيث نصبح أقرب إلى النجوم، فإنه سرعان ما نترك الحقائق الأنيقة وراءنا. وباستثناء الدزينة من السنوات التي امتدت بين ثورة البويبلو وإعادة الفتح الأوروبي،

[175] انظر El santuario de chimayo لـde Borhegyi. -إسكِبيولا: أسطورة مماثلة تُروَى في قرية پكوريس، شمال شرق شِمِيو.

فإن اسبانيا (وبعدها المكسيك) سيطرت على هذه الأرض حتى استيلاء الولايات المتحدة عليها عام ١٨٤٦. وحتى اليوم، يتحدث بعض الناس المسنين في قرى سانچر دو كريستوس لغة محلية اسبانية بأصداء عمرها قرون. هنا، يواصل بعض بقايا توابي لوس هرمانوس، هم الإخوة التوابون،[١٧٦] احتفالهم بأسبوع الآلام بإحياء ألم مخلِّصهم. يختلي هؤلاء، ليلاً ونهاراً في كنائس صغيرة من الطوب تسمى موررداس، ويؤدُّون طقوساً، أكثرها سري، انتقلت على مدى قرنين، وربما أكثر بكثير.

وإذا واصل المرء الصعود بسيارته إلى أعلى وأعلى، فإنه يجتاز الطريق الجانبية إلى كوردوڤا الشهيرة، وهي مقبرة قديمة مليئة بالقبور المزخرفة بألوان نابضة بالحياة. يُميِّز الطريق الضيق المتعرج بالتقاطعات حيث يتوجب على السائقين أن ينعطفوا بسرعة كبيرة ويقتحموا الحافة. بعد شِمِيو بعدة أميال، عند حافة مرج جبلي عالٍ، تقع قرية لاس تروتْشِس. ومع ذرى تروتْشِس التي ترتفع خلفها إلى ثلاثة عشر ألف قدم ووادي ريو چراند الذي ينتشر نزولاً، تقع القرية في واحدة من أكثر البيئات جمالاً في نيومكسيكو الشمالية. ولكن لم يكن قد تم اختيار الموقع بسبب روعته. ففي منتصف العقد الأول من القرن الثامن عشر، قررت الحكومة الاسبانية أن الحاجة تتطلب منطقة فاصلة لحماية المستوطنات في وادي سانتا كروز، وسنتافي بعده من غارات الكومانشس من السهول الشرقية. وعن طريق منح أراض مجانية، جندت الحكومة عائلات فقيرة، كانت تشعر بأنها لن تفقد شيئا، وأسست مستوطنات تروتْشِس ولاس ترومپِس كقواعد أمامية.

حقق القرويون، الذين اعتبرت حكومتهم أنه يمكن التضحية بهم، نجاحاً أفضل مع الكنيسة الكاثوليكية. في هذا الوقت كانت ثورة البويبلو تشتعل وتنطفئ. ولكن الكنيسة لم تستعد كامل قوتها كما كانت قبل الثورة. وكانت قلة من الكهنة في المنطقة تقوم فقط بزيارات متقطعة إلى المنطقة النائية. في هذا الفراغ الروحي، نمت بذور الكاثوليكية الرومانية بطرق غريبة جامحة. ولما كان الناس في سانچر دو كريستوس يحتاجون إلى تذكارات دينية مزخرفة ببراعة، فإنهم لجؤوا إلى نقش تذكاراتهم الخاصة. وكانت الكاثوليكية الاسبانية، منذ وقت طويل، مفتتنة بما هو مروِّع. فبدا أن السنتيروات senteros المحليين يتنافسون مع بعضهم بعضاً للمبالغة في ألم المسيح عن طريق مصلوبين أكثر تلطخاً بالدم.

في مطلع القرن التاسع عشر، كان التوابون قد ظهروا في كل مكان في نيومكسيكو الشمالية. وحل الهرمانيون، كما كانوا أيضاً يسمَّوْن، محل الكهنة الذين كانوا قلما يأتون، فيصلُّون للمريض ويقومون بمهمة السهر عند جثامين الموتى ودفنهم، محتفظين بجذوة الدين حية. وفي محاكاتهم للمسيح، كان التوابون يقومون، بهدوء وأحياناً على نحو غفل، بأعمال الإحسان. ولكن، بوجه خاص، تأثروا تأثراً قوياً بقصة ألم المسيح على الجلجلة. ففي عيد الفصح وأسبوع الآلام، كانوا يكفِّرون بمعاقبة أنفسهم بقوة ويجلد بعضهم بعضاً بسياط اليَكَّة؛ ويسير البعض وهو يربط أغصان الصبار إلى ظهره. ويزحفون على ركبهم في مواكب طويلة ويعيدون تمثيل المسيرة إلى الجلجلة وهم يحملون صلباناً ثقيلة جداً إلى حد أن الخشب كان يجرح أكتافهم. وفي يوم الجمعة الحزينة، يعيدون تمثيل الصلب، فيربطون أحد الإخوة على صليب فوق قمة سفح التل. وعندما كان يفقد الوعي، كانوا ينزلونه وينعشونه، مع أن التقليد يقضي بأن يموت أخ أحياناً على الصليب، ضامناً بذلك لنفسه مكاناً في

---

[176] انظر، من أجل معلومات حول التوابين- Brothers of Light, Brothers of Blood لـ Marta Weigle .

السماء. وفي محاولة لربط قصة التوابين ببعضها بعضاً، كان يصعب فصل الحقيقة التاريخية عن زخرفة الأسطورة. فوفقاً للفولكلور المحلي، كان الإخوة أحياناً يضمون إلى موكبهم هياكل في سراويل بيضاء وقلنسوات سوداء، ويجلدون أنفسهم وظهور من لم يمت بعد.

وفي ذروة نفوذ التوابين في منتصف إلى نهاية العقد الأول من القرن التاسع عشر، انتمى معظم الرجال في الكثير من قرى نيو مكسيكو الشمالية إلى الأخوية. وفي الاجتماعات السرية في الكنائس الريفية التي تسمى مُورادات، كان السانْچِرِدِر، أو الفصَّاد، يستخدم قطعاً حادة من الصوان لوسم المبتدئين بخاتم الأخوية. وكان السِّلْدِر، أو المراقب، يدير العقوبات المقدسة. وكان مساعده، الكودجيوتر، مسؤولاً عن غسل السياط ومعالجة جروح الإخوة.

من أين جاءت هذه الممارسة؟ وما مصدر المذكرات الثقافية التي انغرست بقوة في عقول هؤلاء الناس، ودفعتهم إلى التعبد بحماس كهذا؟ مرة أخرى، تواجهنا، نحن العقلانيين، مشكلة حل دائرة الأفكار. قدم المؤرخون، على مدى سنوات، تفسيرات مختلفة. هل يمكن أن يكون التوابون أحفاداً مباشرين لطوائف المتسوطين[١٧٧] التي انتشرت في أوروبا خلال سنوات الوباء في القرون الوسطى؟ وهل انتقلت الطقوس، من جيل إلى جيل، على مدى خمسمئة سنة؟ أم أنها اقتبست في وقت متأخر، وغرسها ربما عضو من مجتمع متسوِّط من مجتمعات القرن الثامن عشر أو التاسع عشر، رحل من اسبانيا إلى العالم الجديد؟ يعتقد بعض المؤرخين أن التوابين فرع من جماعة علمانية كاثوليكية تسمى الأخوية الثالثة للقديس فرنسيس، التي يعود تاريخها إلى القرن الثالث عشر وكانت رائجة في نيو مكسيكو بعد الفتح الاسباني. وهناك أيضاً اقتراحات بأن بعض الطقوس اقتُبسَت من التيوا الذين يمارسون الجلد سراً في الكِيڤات بدلاً من المورادات. طبعاً، يمكن أن يكون التيوا قد تأثروا بالتوابين. أو يمكن أن تكون لدينا حالة تطور مماثل. وربما يكون هناك شيء ما بشأن الروح الإنسانية التي تسعى، في الظروف الصعبة، بصورة طبيعية إلى الخلاص عن طريق إنزال الألم بالذات. فهناك الكثير جداً حول هذه الأرض وتشابك عقائدها التي ربما لن نفهمها أبداً.

لم يجد التوابون حاجة لإطلاع بقية العالم على نظرياتهم الأصلية الخاصة. وهكذا يعوِّل المؤرخون على الوثائق، وفتات الدليل التي يجب أن يخلقوا منها عالماً آخر. وأياً كان المكان الذي جاءت منه الأخوية، فإن الإشارات إليها لم تبدأ بالظهور في سجلات الكنيسة حتى مطلع القرن التاسع عشر. وفي حين أن بعض المؤرخين يعتبرون هذا كدليل على أن الأخوية غرسة حديثة، ربما جاءت من المكسيك أو جواتيمالا، يشير آخرون إلى أن التضحية التوبية كانت شائعة جداً بين الكاثوليك الاسبان في القرن السابق إلى درجة أنه يمكن أن الرسميين في الكنيسة لم يعتبروها ممارسة تستحق التعليق.

ومع أن السلطات الكنسية في سنتافي أصدرت بيانات عامة ضد الجماعة، وأحياناً حاولت قمعها، إلا أنها، بوجه عام، كانت تبدو متسامحة مع الهرمانيين، وتشجعهم على القيام بكفَّاراتهم سراً وتفادي ابتلاء أنفسهم بأذى جسدي خطير. ففي عام ١٩٤٧، وكمكافأة على تكتمهم، منحت أبرشية سنتافي اعترافاً رسمياً إلى فروع الأخوية التي توافق على الالتزام بقوانين الكنيسة. وهكذا تم، إلى حد بعيد، تَمَثُّل الهرطقة. في هذا الوقت، كانت كل

---

[177] -الذين يجلدون أنفسهم بالسياط تقرباً إلى الإله-المترجم.

الطقوس، باستثناء القليل منها، يُنجَز داخل الموررادا أو في وقت متأخر من الليل في أماكن نائية. واليوم، يسمح فقط لقلة من الإخوة بمعرفة ما يجري داخل المورادات في ليالي أسبوع الآلام الطويلة.

في ليل الأربعاء في واحد من أسابيع الآلام،[١٧٨] ليس منذ وقت طويل، عندما كانت حشود الحجاج تتابع وصولها إلى شِمِيو، التي تقع في أعلى جبل في تروتْشِس، كان بضعة من أعضاء متبقين من الأخوية المحلية داخل المورادا، يستعدون للاحتفال بالعشاء الأخير. وكان أسبوع الآلام قد جاء مبكراً تلك السنة. هبّات من الثلج كانت ما تزال تنفخ خلال الوديان كما يتدفق الدخان من مدخنة المورادا، وهي مبنى عادي طويل من الطوب مع صليب بسيط يعلو الباب. كانت المورادا تجثم عند طرف البلدة، مع مشهد بانورامي لنيو مكسيكو الشمالية. من المدخل، يمكن للمرء أن يتطلع شرقاً ويرى ذرى تروتْشِس ترتفع قريباً منه. وبعيداً إلى الجنوب، تومض أبراج الإرسال فوق الساندييز بإشاراتها الحمراء. وإلى الغرب، في الوادي، تتألق أضواء مستوطنات ريو چراند، ويحوِّم في الجبال فوقها سديم لوس ألاموس الأكثر بعداً. وفي النهار، يستطيع المرء أن يقف قرب المورادا ويشاهد هضبة سانت آيْدِفونسو السوداء وذروة شيكوما، وهو الجبل الغربي المقدس.

في معظم الليالي، تكون تروتْشِس صامتة، باستثناء صوت بعيد لكلاب تنبح. ولكن في هذه الليلة، كان ينبعث من داخل المورادا الصوت المتناغم للإنشاد، هادئاً ومسترخياً، وإلى حد ما منوِّماً، كالصوت الذي يمكن أن يسمعه المرء خارج دير وسيطي. ومع اختلاف في الكلمات والإيقاعات، يمكن أن يكون الصوت آتياً من كيڤة. ومع حياة على شفا الارتباك، نجد تسلية في تكرار الأصوات المألوفة.

داخل المورادا، ثلاثة من الهرمانيين، راكعين على ركبهم أمام مذبح، يتلون الصلوات. في الوسط، يركع عمدة الهرمانيين، أو الأخ الرئيس، ليرُويْ ڤيجِل، وهو رجل معسول اللسان، خشن المظهر، يعمل نهاراً في لوس ألاموس لحساب الشركة التي تقوم بصيانة الأجهزة الميكانيكية المختلفة للمختبرات؛ وتعمل إحدى بناته، ديلا أليبْري، في مكتب الإعلام في معهد سنتافي. ولكن في هذه الليلة، كانت هاتان القاعدتان الأماميتان للبحث العلمي تبدوان بعيدتين جداً عن الشؤون الدنيوية. كانت الكنيسة البسيطة، المزينة بورق جدران زهري، مدفَّأة بموقد يعمل بالحطب. وخلف المذبح تقع الرِّيتابلو[١٧٩] النيو مكسيكية الشمالية التقليدية، وهي عبارة عن مربعات مرسومة بصور العذراء والقديسين. وإلى اليمين واليسار، صلبان صغيرة تزين الجدران. وفي مركز الحجرة، ينتصب فوق الإخوة الراكعين، تمثال المسيح في أردية أرجوانية، مجروح الرأس وينزف من إكليل الأشواك. وكان عدد من الزائرين يجلسون على كراسي قابلة للطي، يراقبون وأحياناً يصلُّون.

عندما انتهت الصلاة، قبَّل الإخوة الأرض أمامهم، ودُعِي الضيوف إلى المطبخ من أجل العشاء الأخير. وعندما جلسوا إلى طاولة خشبية طويلة، قامت نساء من القرية بتقديم أطباق العشاء من صلصة الفلفل الأحمر الحاد، والفاصولياء، والقمح، وفطائر الدجاج، وشراب البرتقال، والقهوة. وكان الإخوة يقفون وراء الطاولة، رافعين صليبين خشبيين كبيرين وينشدون تراتيل اسبانية تسمى *ألابدا*. وعندما انتهى العشاء، شكروا الضيوف لمساعدتهم في احتفال ليلة توديع المسيح لتلاميذه.

---

[178] -اعتمدت في وصفي لأسبوع الآلام على زيارتي إلى هناك عام ١٩٩٣.

[179] -رافدة المذبح، وهي رف مرفوع عادة فوق المذبح يوضع عليه صليب المذبح وأضواؤه وأزهاره-المترجم.

وفيما تبقى من أسبوع الآلام، كان ستة من الإخوة يقضون النهار والليل داخل الموررادا، ويخرجون من أجل الطقوس العرضية التي يُسمَح للغرباء بمشاهدتها. أما ما يجري في بقية الوقت، فنتركه للخيال. وقد تعلمت زوجات وأسر الهرمانيين عدم طرح الأسئلة.

وفي صباح يوم الجمعة الحزينة، يغادر التوابون الموررادا للمساعدة في احتفال القرية باليوم الذي يعتبره الكثيرون أنه اليوم الأكثر أهمية من السنة. إنه صباح الإنكونترو 'اللقاء'، عندما التقى المسيح بمريم على الطريق إلى الصلب. يسير الإخوة ببطء، يصلون وينشدون، ويحملون كريستو، معصوب العينين، صعوداً على طريق ترابية، إلى ما بعد متجر تافويا، إلى كنيسة صغيرة تسمى مِشِن أُف ذي هولي روزِري، أي بعثة الصلوات المقدسة، التي تقع قرب مركز البلدة. وعندما يشقون طريقهم تدريجياً عبر القرية، تبدأ مجموعة من النساء، هن عضوات في الجمعية الكرملية المحلية، موكبهن الخاص من الكنيسة، حاملات تمثالاً صغيراً للمادونا، مرتديات اللباس الأسود حداداً. ويلتقي الرجال والنساء في الفناء الصغير، ويُرفَع المسيح ومريم قرب بعضهما في وضعية عناق. وعندئذٍ، يركع القرويون، واحداً واحداً، لتقبيل رداء المسيح، ثم رداء مريم.

في وقت مبكر من بعد الظهيرة، يجلس التوابون في الموررادا التي تؤدي إلى *ڤاي كروسس*، أي محطات الصليب التقليدية. في الماضي، كانت المحطات الأربع عشرة تُمَثَّل بصلبان صغيرة تقود من باب الموررادا إلى الصليب الكبير، كلڤيريو، على التل المجاور. ويتوجب على التوابين أن يزوروا كل محطة، واحدة واحدة، مجددين في أناشيدهم إحياء إدانة المسيح من قبل بيلاطس، وتسلقه سفح التل حاملاً الصليب، وسقوطه الأول، ولقائه مع أمه... وسقوطه الثاني، وسقوطه الثالث، وصلبه. وأثناء دورانهم بهذه الطريقة المعتادة، يلجأ الإخوة إلى جلد أنفسهم ندماً على الإزعاج الذي سببته خطايا الجنس البشري للمخلِّص الأقدس.

في تروتشِس اليوم، اختُزِلَت العبادة إلى حد بعيد، حيث أصبحت تؤدى كلها داخل الموررادا، ويأتي الزائرون ويروحون في أي وقت خلال الصلاة الطويلة. وبعد ذلك، يقود البعض سيارته نزولاً على سفح التل إلى شِمِيو، التي تكون في هذا الوقت مزدحمة جداً بألوان حركة سير الناس. أو يقضون النهار مع أسرهم، بانتظار قدوم الليل، الذي يعتبر ذروة الأسبوع.

في حوالي العاشرة مساء،[١٨٠] ينظم الهرمانيون موكباً آخر من الموررادا إلى الكنيسة، حاملين مرة أخرى تمثال يسوع. يحمل أحد الإخوة فانوساً، وآخر مصباحاً ومضيئاً لقراءة الكلمات لمرتلي الألابَدا. وأثناء إنشادهم، يعزف أحدهم الناي في حين يقوم آخر بتدوير آلة لإحداث الضجيج تسمى *ماتْرِكا*. يدخلون إلى الكنيسة على شكل رتل، ويضعون كريستو قرب المذبح. وبعدئذٍ يضيئون ثلاث عشرة شمعة على طول حاجز المذبح–واحدة للمسيح ولكل من تلاميذه. وعلى مدى ساعة تقريباً، يركع الإخوة على الأرض الصلبة ويرتلون الصلوات. وبعدئذٍ، تبدأ الصلاة العامة التي تسمى *تينِيبِس*.

و *تينِيبِس*، المستمدة من الصلاة الكاثوليكية التقليدية التي تسمى تينِبْري، تعني "الظلام" أو "الفوضى." ومع تقدم المساء، يصبح واضحاً كيف اكتسب الطقس اسمه. تضج الكنيسة بالأصوات الحزينة لمنشدي ألابَدا التوابين. وعندما يصلون إلى نهاية المقطع الأول، يدوِّر أحدهم الماتْرِكا، وتُطفأ شمعة في نهاية الصف. وهذا

---

[180] ومن الشائع أيضاً أن تقام صلوات أسبوع الآلام في ليالي الثلاثاء.

يعني أن الرسول الأول خان المسيح. وعند انتهاء المقطع التالي، تُطفأ شمعة من النهاية المقابلة في الصف. وهذا يعني خيانة أخرى. وتتواصل المتتالية، فتُطفأ شمعة من جانب وبعدها واحدة من الجانب الآخر، حتى تلتقي الظلمة عند الشمعة الوحيدة–حياة المخلِّص انتهت بخيط من دخان–وتُطفأ باقي المصابيح في الكنيسة.

ينسحب عدد من التوابين، متخفين في الظلمة، إلى غرفة جانبية. وتتواصل *الألابد*. المصلون يصلُّون للمتوفى حديثاً. وعندئذٍ ينفجر صخب فجأة: الصوت الصَّارُ للماترِكا، وصرخة النايات الحادة،، ووطء الأقدام، وما يبدو أنه صندوق من زجاج يُرَجّ–أصوات كثيرة يتوجب على العقل أن يصنفها. يقال إن التوابين، في الماضي، كانوا يجلدون أنفسهم خلال الفوضى ويبكون بألم. هذه هي ساعة الظلمة بعد موت المسيح عندما، كما يقول متَّى، "وإذا حجاب الهيكل قد انشق إلى اثنين من فوق إلى أسفل. والأرض تزلزلت والصخور تشققت. والقبور انفتحت وقام كثير من أجساد القديسين الراقدين. وخرجوا من القبور...."

على مدى هذه الدقائق القليلة، يبدو العالم خالياً من النظام–سواء كان نظام الإنسان أو نظام الإله. ولكن الإيمان ينتصر في النهاية. ويُهزَم الشواش. فتُضاء المصابيح من جديد داخل الكنيسة، ويصلي المزيد من المصلين للميت، وأخيراً تنتهي الصلوات عند منتصف الليل. ويخرج التوابون مطأطئي الرؤوس إلى الخلف للخروج من الكنيسة والعودة إلى المورادا. ويوم أحد الفصح سيحضرون قداساً تقليدياً مع عائلاتهم، لقد قاموا بدورهم لإبقاء ذكرى عذاب المسيح وموته حية. ويبقى الاحتفال بالقيامة من مسؤولية الكنيسة وسلطاتها.

يعتقد الكثيرون ممن يدرسون أصول المسيحية بأنه ليس صدفة أن يقع أسبوع الآلام قريباً من وقت الاعتدال الربيعي، عندما يتساوى من جديد طول الليل والنهار، وتكون الشمس في منتصف الطريق من رحلتها جنوباً. فالعالم يبزغ من الظلمة، والابن يبزغ من القبر–وستبزغ البذور بسرعة من الظلمة تحت الأرض، كما صعد الناس، وفقاً لأسطورة البويبلو، من العالم السفلي.

في كل أنحاء نيو مكسيكو الشمالية، يخرج الراقصون من الكيفات أرتالاً للاحتفال بتكرار هذه الدورات السماوية. فعند أول الطريق في نامب، يحتفل جيران تروتْشِس التيوا بذكرى عيد الفصح بالتكرارت الدقيقة لرقصة القوس والسهم. وعبر الوادي، يؤدي رجال ونساء آيْدِفونسو رقصة السلة. يبدو أن احتفال النور والانبثاق من الظلمة مُسَلَّكان بقوة في أدمغتنا بدورات الشمس، أي بتجربة الولادة نفسها. والطرق المحددة التي يطورها الاحتفال تصوغها التوافقات التاريخية. وتحته تماماً يكون هذا التوق–ليس فقط إلى النور ولكن إلى النمط، إلى العودة التي يمكن التنبؤ بها للشمس. ومع إلقائنا على هذا الكوكب تحت سماء عديمة الحس، فإننا نجد عزاء في الاعتقاد بأن هناك خلف ستار ارتباك العالم نظام يمكن اكتشافه. ووراء النجوم العديمة الشعور هناك ذكاء، سواء اعتبرناه إلهاً متدخلاً أو قوانين رياضية للفيزياء. أما كيف أُفسِح لنا مكان في المشروع، فيبقى هو اللغز الأعمق المستغلق على كلا العلم والدين.

إن السكان الاسبان في نيو مكسيكو هم في أكثريتهم الساحقة، من الكاثوليك. ولكن منذ الاحتلال الأمريكي،

حاولت جماعات صغيرة من البروتستانت[١٨١] أن تنافس الكنيسة الكاثوليكية على أرواح الناس في سانجر دو كريستوس، عارضين أيضاً طريقة أخرى لتجزئة العالم. ففي تروتْشِس، مباشرة بعد مِشِن أُفْ هولي روزِري، نجد كنيسة مشيخية. وبعد هذه نجد الكنيسة الصغيرة المتداعية، المهجورة حالياً، التي وصفناها في بداية هذا الكتاب: تمِپلو زيون، وهي قاعدة أمامية لأسَمْبليدوس دو دْيُوس، أي مجمع الرب. وفي مزيج الألحان المهيبة للهرمانيين، ترتفع الصرخات الحماسية للمولود ثانية. إن أعضاء مجمع الرب هم، كغيرهم من المتشددين الآخرين، مجموعة تأسست في الغرب الأوسط[١٨٢] حوالي منقلب القرن [الماضي]، يؤمن أتباعها بالحقيقة الحرفية للكتاب المقدس والعودة الوشيكة للمسيح. وهم أيضاً عناصرة،[١٨٣] يميزون أنفسهم عن المتشددين الآخرين بإيمانهم باللسانيات، أي التكلم بالألسنة. ففي اللحظات الأكثر شدة لحماسهم، يتقيأ المتعبدون مقاطع لفظية عشوائية فيما يبدو، يُزعَم أنها ترمِّز الرسائل من مملكة الرب. وعلى مدى عقود والمهللون[١٨٤]، كما يسميهم بعض جيرانهم على سبيل السخرية، يقومون بالهداية في سانجر دو كريستوس، في محاولة للجم حماسة الإيمان الكاثوليكي وتوجيهه في وجهات أخرى. وقد انضم أيضاً إلى العناصريين بعض التوابين، ممن هم على خلاف مع الكنيسة الأم. ومع أن معبد زيون مغطى اليوم بألواح خشبية، فإننا نجد، عند أول الطريق بين شِمِيو وسانتا كروز كنيسة أخرى لمجمع الرب تسمى معبد كالڤيريو، التي يكون موقف السيارات فيها مزدحماً جداً بالسيارات يوم أحد الفصح.

يعتقد المتشددون الأكثر حماساً بأن العالم الذي نعيش فيه مُحاصر. والكنيسة الكاثوليكية هي وكيل الشيطان، "مومس بابل" كما يصفها سفر الرؤيا. والثقافة الدنيوية، بما فيها الكثير من العلم الذي يتواصل في سنتافي ولوس ألاموس، هي جزء من الامبراطورية الملحدة التي وصفها سفر الرؤيا بأنها مملكة المسيح الدجال. وعندما تتحقق النبوءات، كما يلقِّن المتشددون، فإن المسيح سينجز مجيئه الثاني ويدمر مملكة الأشرار.[١٨٥] ولكن يسوع، كما يلقِّن سفر متى، لن يعود قبل أن تكون كلمات الإنجيل قد وصلت إلى كل رجل، وامرأة، وطفل على الأرض. ولضمان هذا البذر الواسع النطاق للمعلومات، ترسل كنائس المتشددين مبشريها إلى كل أرجاء الأرض، بما في ذلك المناطق التي تكون كاثوليكية رومانية بشدة.

إن مجمع الرب، في كل مكان من أمريكا اللاتينية، يتحدى هرمية روما بهذا النوع البديل للخلاص. ففي نيو مكسيكو الشمالية، يجتذب هؤلاء العناصريون الناس الذين يسحقهم الفقر بالتوكيد على أن حرمانهم ليس عشوائياً وليس دون معنى–تنبأ به سفر الرؤيا وأسفار متى، ودانيال، وحزقيال. والاحتلال من قبل الانكليز، وهجوم الدنيوية، وازدهار سنتافي مقارنة بفقر تروتْشِس وشِمِيو–كل هذه المظالم هي جزء من المخطط الرئيس.

أغرى الشيطان الجنس البشري ببناء أبراج بابل، التي ترفع إبداعات البشر فوق إبداع الرب. ولكن لا يوجد عند المتشددين شيء اسمه تقدم بشري. وما تنبأ به الكتاب المقدس هو الانحلال الحتمي. وبما أن آدم وحواء أكلا من ثمار شجرة المعرفة، فإن الجنس البشري يجب أن يُعاقَب. ويجب أن تتقوض إبداعاته لإفساح الطريق

---

181 انظر لدراسة الإرساليات البروتستانتية في نيو مكسيكو الشمالية الشرقية، Protestantism in the Sangre de Cristos لـ Randi Jones Walker .

182 في الولايات المتحدة الأمريكية-المترجم.

183 نسبة إلى عيد العنصرة (عند اليهود)-المترجم.

184 نسبة إلى عبارة هلّلويا-المترجم.

185 مثال نموذجي ومؤثر لنبوءة المتشددين هو The Late Great Planet Earth لـ Hal Lindsey.

لعودة المخلِّص. والخلاص سوف يأتي ليس من علم الجنس البشري ولكن من المسيح نفسه، عندما يعيد توطيد مملكته، وفي غضون ذلك، يجب ألا نخشى انحلال الحضارة ونحاربه، بل يجب أن نرحب به بذراعين مفتوحتين. فالمسيح على وشك أن يعود إلى الكوكب؛ والألم كله لهدف، وهو على وشك أن ينتهي.

ومع اقتراب عام ٢٠٠٠، تزدهر العواطف الألفية في كل أنحاء العالم. وفي دوامة الأحداث–سقوط الاتحاد السوفييتي، وانحرافات وتحولات الدبلوماسية الشرقأوسطية– يعتقد المتشددون بأنهم يشاهدون نبوءات في طريقها إلى التحقق. فخلف الشواش تلميحات واضحة إلى برنامج سماوي. وعندما تتك كل القطع في مكان، فإن المسيح سينسق عودته، موجهاً المؤمنين إلى السماء في صعود جماعي يسمى النشوة، التي ستعقبها، بالنسبة للآخرين جميعاً، فترة سبع سنوات من الجحيم على الأرض تسمى المحنة. وبعدئذٍ تحدث معركة هرمجدون، التي تعرف أيضاً بالحرب العالمية الثالثة. وقد ورد وصف بعض الأشياء المرعبة التي تقع في هذا الوقت في سفر الرؤيا: بلاء من الجراد مدرع بالحديد (طائرات مروحية، وفقاً لبعض التفسيرات)؛ ونجم كبير ينطلق من السماء ويسمم ثلث مياه الأرض (صاروخ نووي؟). ولكن قوى الخير ستنتصر وستبدأ الألفية الجديدة.

يخبرنا المؤرخون أن الكثير من أجزاء الكتاب المقدس وُضعَت لمؤاساة الناس في العصور القديمة. فوُضِع سفر الرؤيا من أجل المسيحيين الذين تعذبوا تحت حكم الامبراطور نيرون. وفي سفر متى، عندما يقول المسيح إن عودته ستكون نذيراً بزلازل، ومجاعات، وحروب، و"إشاعات حروب،" فيبدو أنه يتحدث إلى تلاميذه، واعداً بالعودة في مدى حياتهم. ولكن الكتاب المقدس، في نظر المتشددين، ليس وثيقة تاريخية. إنه صورة تصميم الخلق. هنا يجب أن يبحث المرء عن قوانين سرمدية.

يتفحص العلماء الانطباعات التي تستقبلها حواسنا من الطبيعة، على أمل أن يكتشفوا أنماطاً. وعلى مدى عقود، والعلماء المتشددون ينعمون النظر في آيات الكتاب المقدس، وما ينبشونه لا شيء أقل من وصف لمستقبل الكوكب. ونتيجة هذه التنقيبات التفسيرية كانت خرائط معقدة، رسوم تخطيطية للتاريخ، في الماضي والمستقبل. فتُربَط آيات الكتاب المقدس بآيات الكتاب المقدس التي تشكل شبكة كثيفة بالتوصيلات كالتسليك على شريحة حاسوب. والنبوءات المعروفة على نحو أفضل استخرجها، بجهد كبير ، العالم الديني سي آي سكوفيلد، الذي علَّق وعلَّق على كل فصل في الكتاب المقدس إلى أن أصبح حجم التعليقات بحجم الكتاب المقدس نفسه. ويأخذها المتشددون بحرفيتها كما يفعلون مع الأسفار المقدسة. ويشكل The Scofield Reference Bible، الذي نشر لأول مرة عام ١٩٠٩، الأساس للكثير من النبوءات التي وردت في رواية Hal Lindsey الرؤيوية المثيرة الرائجة the Late Great Planet Earth، أو في تعليقات بات روبرتسون التلفزيونية على شبكة الإرسال المسيحية، التي يُزعَم فيها أن الحوادث في الأخبار تنذر بتدمير إبداعات الإنسان العابرة. ويرفض المتشددون الرؤية الحديثة بأن هناك شيئاً ما عشوائياً أو صدفة حول التاريخ. ويمكن اعتبار ذلك الشيء كخرج لحاسوب عظيم، عتاده مصمم في الكتاب المقدس. وعندما يحل المرء رموز هذه الشيفرة، يمكن أن يعرف كل شيء. والنتيجة هي نظام كلي الشمول لا وجود فيه للمصادفات. وكل شيء يتجلى وفقاً لخطة.

كما نتعلم من فيزيائيي الجسيمات، إذا صعدنا إلى مستوى أعلى من التجريد، فإن الأشياء التي تبدو مختلفة على السطح، تبدو فجأة مظاهر لوحدة أعمق. وبالمثل، إذا نظرنا إلى التشددية من أعلى، فإنه يمكن أن تبدو

كمظهر للروح العقلية–هذا الدافع إلى التنبؤ، هذا البحث عن أنظمة مدفونة. ولكن الهياكل التي تبنيها التشددية تخدم هدفاً مختلفاً جداً عن الهياكل التي يبنيها العلم. فإذا اكتشف الكوزمولوجيون نظرية للشروط الأولية، أي معادلة موجية كمومية لكون يتراءى أنه لا يحتاج إلى محرك خارجي، عندئذٍ تكون المسألة أكثر سوءاً بالنسبة للإله. أما بالنسبة للمتشددين، فالإله والكتاب المقدس هما الأساس، وكل علم يجب أن يُبنَى على هذه الصخرة، التي تُفسَّر ضمن هذا الإطار. وفي البحث عن تفسيرات معقولة للمعجزات، يحاول العلم أن يستوعب الدين في شبكته المفاهيمية. ويحاول المتشددون قلب الطاولة. فبدلاً من رفضهم للعلم، فإنهم يحاولون استيعابه في نظامهم الخاص، كما استوعب التيوا الكاثوليكية أو طائفة الإسكوبيبولِس التي تستوعب أسطورة سانتو نينيو.

في الأوقات التي سبقت آينشتاين وبلانك، عندما كانت قوانين نيوتن سائدة بشكل مطلق، اهتم حتى أكثر الانجيليين حماساً بالعلم لتبرير معتقداتهم القلبية. فوصف كوبرنيكوس، وجاليليو، وكبلر، ونيوتن كوناً بدا أنه يعمل بسلاسة كمكنة أنيقة. وكان الإله هو مهندس تلك الآليات الساعيّة السماوية. ومع أن بعض المحتجين تفجعوا على أن الأرض لم تعد في مركز النظرة الإلهية، فإن الكوزمولوجيا الجديدة للعلم بدت وكأنها تقف كتحدٍّ هائل في وجه ترجمة الكنيسة الكاثوليكية للأشياء.

في الكون الكاثوليكي، المنظم وفقاً لما سُمِّيَ **السلسلة العظمى للوجود**، يجلس الإله على قمة سلَّم سماوي والجنس البشري في الأسفل. وما بين الدرجات، يأتي الملائكة من مختلف المراتب. وبعدئذٍ يأتي البابا، والكرادلة، والمطارنة، والكهنة. والإله يحكم بكلمة 'ليكن'، التي تنقل قراراته نزولاً. أما البروتستانتية فعلى العكس، حيث كانت مدفوعة بالإيمان بأن الناس يستطيعون إدراك القوانين الإلهية بأنفسهم، دون توسط القديسين أو مساعدة السلطات الكنسية. لم تكن قوانين الكون تُنشَر على نحو متواصل بقرار، كما في شركة سماوية؛ بل تم تسليكها عند البدء من قبل مصمم عظيم.

ولكن بعدئذٍ جاء التطور، والنسبية، ونظرية الكمّ. ووفقاً لهذه العلوم الحديثة، فإن الأنظمة البيولوجية الجميلة لا تأتي من مصمم عظيم، بل من طفرة عشوائية واصطفاء. والزمان والمكان لم يكونا مطلقين بل نسبيين؛ وسلوك الجسيمات دون الذرية يمكن فقط وصفها إحصائياً. والأسوأ أيضاً بالنسبة لما يعتقده المتشددون، هو أن العالم الذي وصفه آينشتاين، وهيزنبرج، وبور لم يعد بسيطاً، يمكن أن يدركه الإنسان العادي. فاليوم يمكن فقط فهم علم الفيزياء بالرياضيات المبهمة والأمكنة المتخيَّلة. ويُخشى أن يكون العلماء قد أصبحوا هم الكهنة الجدد. والشيء الوحيد تقريباً الذي ظهر من العلم ما بعد النيوتني، وكان المتشددون تواقين إلى اعتناقه، هو القانون الثاني للدينامية الحرارية بصورته للتدهور الحتمي.

وفي محاولة لاسترداد العلم الذي يعتقدون بأنه سُرِق منهم، بدأ المتشددون بتطوير نظامهم الخاص–علم بديل يرفض فكرة أن الصدفة تلعب دوراً مهماً في الشؤون البشرية. فلنَرُجَّ كلايدسكوب وعندئذٍ قد يبدو فجأة أنّ الدليل على أن الحياة والكون تطورا عبر دهور يدعم فكرة أن كل شيء خُلِق في سبعة أيام.[١٨٦]

يمكن إعادة تفسير دراسات التأريخ الإشعاعي لإثبات أن عمر الأرض ليس أربعة بلايين سنة، كما يعتقد الجيولوجيون، ولكن ستة آلاف سنة–عمر يمكن أن نحصل عليه بجمع الأجيال التوراتية قبل المسيح. وبما أنه

---

[186] الرواية القياسية للخلق هي The Genesis Flood لـ John C. Whitcomb و Henry M. Morris.

من الصعب أن تكون ستة آلاف سنة كافية لتشكل كون بقطر عشرة إلى عشرين بليون سنة ضوئية، فإن محامو ما بات يسمى أخيراً "علم الخلق"، يحاولون إعادة تفسير المعطيات الفلكية، لإعادة قياس ثابت هابل أو إثبات أنه ليس هناك، في الواقع، حداً أعلى لسرعة الضوء. فبعض القائلين بالخلق، الذين هم على ثقة كآينشتاين بأن الإله لا يلعب النرد، بذلوا جهدهم لإظهار نموذج حتمي للذرة.

إن قلة من المتشددين أيضاً تفسر بعض مقاطع الكتاب المقدس (سفر الجامعة ١: ٥ يقول، "الشمس تشرق والشمس تغرب") بأنها تفترض كوناً مركزه الأرض. ولإعادة الأرض إلى مركز اهتمام الخالق، كتب أحد العلماء القائلين بالخلق بحثاً أعاد فيه تفسير التجربة الحَدَث لمايكلسون ومورلي. فبعد أن اكتشف العالمان أن أشعتهما الضوئية العمودية تنتقل بالسرعة نفسها، اتُخِذ هذا الاكتشاف أخيراً كدليل على أنه ليس هناك أثير وأن سرعة الضوء ثابتة. وكما اقترح فتسجِرالد ولورنتس، فإن التأثير حدث لأن الأشياء تتقلص في اتجاه حركتها، وهكذا فإن شعاع الضوء الذي ينتقل مع الأرض سيعبر مسافة أقل بقليل من الشعاع الذي ينتقل عمودياً. وتابع آينشتاين تطوير نظريته النسبية الخاصة التي تتقلص الأشياء المتحركة فيها ويبطئ زمنها، دائماً بالقدر الدقيق الضروري دائماً للمحافظة على سرعة الضوء كثابت. وكما يرى بعض القائلين بالخلق، هناك جواب أبسط، وأكثر أناقة: أشعة مايكلستون ومورلي انتقلت بالسرعة نفسها لأن الأرض ثابتة، عند مركز الخلق، تماماً كما يقضي الكتاب المقدس.

إن نظرية الخلق لدى الجميع، باستثناء المؤمنين، هي مجرد خرافة–كل هذه التحريفات، كل هذه العمليات الأكثر تعقيداً الجارية ضمن عملية أكبر منها، لجعل الكون يتكيف مع كلمات النص القديم. في العلم، كما يقال، لا شيء مقدس؛ فالعقيدة الأثيرة أكثر، يمكن إسقاطها بمعطيات نقيضة. وبسبب هذه الرغبة لوضع قدمي العلم في نيران الحقيقة، فإنه منحنا، كما لم يفعل أي نظام آخر، قوة كبيرة جداً للتنبؤ والسيطرة على الطبيعة. وبهذه الطريقة يكون مختلفاً عن أي دين أو فلسفة.

ولكن الطريقة التجريبية، كما يقول الفلاسفة، ليست دائماً مستقيمة كما تبدو. فنظرية قوية يمكن أن تكتسب حياتها بنفسها، متجذرة عميقاً في العقل إلى حد أنها تصبح حصينة تقريباً ضد تحديات الواقع. ويتم تعديل النظرية عندما تهددها معطيات لا تستطيع تفسيرها؛ فتُضاف تعقيدات إلى تعقيدات حتى يستقر الهيكل على رصيفه بصورة مريحة أكثر أو يصبح مربكاً جداً إلى حد لا يمكنه أن يصمد. هنا لا يكون الدافع هو الاحتفاظ بإله في مركز الخلق، بل الاحتفاظ، بقدر الإمكان، بابتكار بشري يخدمنا بصورة جيدة في جوارنا للمجرة الذي لا يسعنا إلا أن نأمل بأنه سيتبين بأنه سيكون ذو أهمية شاملة.

وبالقدرات التي سبكها التطور في أدمغتنا، نكتشف القوانين التي تُطبَّق ليس فقط على سقوط الأشياء ولكن يمكن استخدامها للتنبؤ بحركة الكواكب. فتنجز قوانين نيوتن عملاً رائعاً جداً لوصف حركة الأشياء القريبة إلى حد يبدو أنه لا يمكن تصور أنها لا تُطبَّق (مع انحراف نسبي وجرعة قوية من المادة المظلمة) على كل شيء في الكون. ونظرية الانفجار الكبير، بالنسبة للكوزمولوجيين، توضح الكثير جداً إلى حد أنها أصبحت تقريباً أساسية كقوانين نيوتن. فعندما تواجهنا تناقضات–تكوينات مِجَرِّيَّة كبيرة جداً إلى حد أن الجاذبية ربما لا تستطيع

أن تشكلها في دهور محددة-نفترض أنه يجب أن يكون هناك المزيد من هذه المادة غير المرئية.

إن السلاسة التي لا تُصدَّق للإشعاعية الخلفية والإشارات إلى أن الكون "مسطح"-متوازناً على حد سكين بين كونه مفتوحاً (يتوسع إلى الأبد) أو مغلقاً (ينهار أخيراً على نفسه)-تبدو توافقات صالحة جداً لكي تكون حقيقية. وينظر بعض المسيحيين إلى ظواهر، كالسلاسة والتسطح، بوصفها معجزات. وأفضل من تراب شِمِيو المقدس، يقدمون دليلاً على إله متصلب، حرفي معلم. ولكن العلم يهدف إلى إقصاء المعجزات، أي تفسير العالم من خلال قانون طبيعي. وهكذا يقوم بعض الكوزمولوجيين بوثبة إيمان في اتجاه مختلف ويعتنقون مبدأ التمدد الكوزمولوجي: في البدء، انطلق الكون بجموح يوسع المكان، ويسويه ويسطحه وهو يكبر. ويجدون آليات افتراضية في باطن فيزياء الجسيمات لشرح كيف يمكن أن يكون قد حدث مضاد الجاذبية هذا. وإذا كانت الرواية التمددية لنظرية الانفجار الكبير تؤيد فكرة أن ٩٩% من الكون مؤلف من مادة مظلمة-جسيمات غريبة لم نكتشفها حتى الآن-عندئذٍ ليكن. هناك تبرير أولي لهذه المبتكرات البارعة هو أنها تؤدي إلى نوع من تكوين يبحث العلم غريزياً عنه: تكوين لا يتطلب إلهاً لتثبيت المسكات بدقة، كون ليس خارقاً-صالح جداً لكي يكون حقيقياً.

إن ما يتراءى من وجود قوى أساسية أربع، لكل منها خصوصيته، يبدو في نظر فيزيائيي الجسيمات منفراً جمالياً. وهكذا يفترضون عالماً سفلياً متقناً بقوة واحدة، تناسق تحطم عشوائياً، مؤدياً إلى كوننا غير المتقن. ويرتدون إلى حديقة الجسيمات دون الذرية بكتلها الاعتباطية ظاهرياً، وبالتالي يفترضون أن كل الجسيمات في العالم السفلي-الفيرميونات والبوزونات الحاملة للقوة-كانت جسيماً واحداً عديم الكتلة تماماً، وهو تناسق آخر تحطم. عندما تتطلب المحاولات لجلب نظام إلى العالم دون الذري ابتكار صفات مجردة كغرابة وفتنة التي تتظاهر فقط في الأمكنة الرياضية المتخيلة، عندئذٍ يزداد عجبنا فقط.

نحن ننجز هذه المآثر البطولية للتخيل لكي نحافظ على ما نعتقد في أعماق قلوبنا بأنه صحيح: الكون أخيراً متساوق كالموسيقا التي نعزفها، والماسات التي نصقلها، إنه شيء ما متناغم مع العقل البشري. ولكن عندما نطل على فوضى الخلق، عندما ندرس درجة أفضليتنا، حواسنا وأدمغتنا المغمَّاة، عندئذٍ يبدأ الاعتقاد بأنه يمكن أن نخترق حجاب الصدفة والطارئ ونشاهد الكمال البلوري يظهر كأعمق العقائد.

في البداية، كان عالم النقاوة الرياضية الذي تحطم لكي يُحدِث العالمَ الذي نجد أنفسنا فيه. كيف يكون هذا الاعتقاد مختلفاً جداً عن **السقوط** من جنة عدن، أو انبثاق التيوا من العالم السفلي السماوي؟ نحن مكتشفو الأنماط، صانعو الأنماط، نتوق غريزياً إلى التناسقات. وبدلاً من أن نترك أنفسنا تُسحَق بالفوضى، بالعشوائية، بالجموح الذي يسود غالباً، فإننا ننشئ أساطير خلقنا، نحلم بزمن يسود فيه النظام.

على مدى قرون خِطْنا مُرَقَّعَة التفسير: قوانين الفيزياء، الكيمياء، البيولوجيا، الجيولوجيا-نوافذ صغيرة على العالم، عناقيد من الأفكار التي يجعل كل منها جزءاً صغيراً من الواقع مفهوماً. وبعدئذٍ، نكتشف، مدفوعين بهذه الموهبة، بهذا الإلزام بملاحقة الانتظامات، أنماطاً بين الأنماط، عناقيد من العناقيد. ومن هذا المستوى الأعلى للتجريد نظن أننا نشاهد عناقيد مما بعد العناقيد. وبما أن العلم لم يكتف بقدرة النسبية العامة على تفسير السماء، وقدرة نظرية الكم على تفسير المملكة دون الذرية، فإنه يحلم بتوحيدهما في نظرية شمولية. ونتسلق سلم التجريد،

درجة درجة، لكي نصل إلى موقع مناسب، يبدو منه كل شيء واحداً–محكوماً بتناسق أعلى. ولكنها قفزة جريئة للإيمان لكي نعتقد بأنه يمكن توحيد كل شيء، وأن الأدمغة التي وهبها لنا التطور لكي نشق طريقنا عبر متاهة دنيوية مجهزة لإجراء هذا التجريد النهائي.

وهبتنا الطبيعة هذا الدافع الرائع لاكتشاف النظام. ولكن دائماً نصطدم بقيودنا. وتماماً كضفدع يستطيع فقط أن يرى الأشياء التي تتحرك عبر مجاله البصري بحركات محددة، هكذا نحن ندرك فقط جزءاً صغيراً جداً من الطيف الكهرطيسي. ولكن نفترض بأنه نستطيع أن نكمل حواسنا بعقولنا وبرياضياتنا. وننظر حول الترددات وراء أفقنا، والأشعة غير المرئية للضوء تحت الأحمر وفوق البنفسجي، وأشعة غاما والأمواج الراديوية، ونبني منشآت لاكتشافها. وبعدئذٍ ننسج قصصاً حول كيف يجب أن تكون هذه العوالم المتوارية. وعندما نفشل في اكتشاف التناسق في العالم حولنا، نتخيل أبعاداً إضافية، مواقع أعلى مناسبة، منها سيسترد العالم كماله. ولكن، على الرغم من جهودنا، فإن الحقيقة كاملة ستروغ منا. ومهما حاولنا، فإننا لن ننجح في حشر ضخامة الخلق في رؤوسنا البالغة الصغر.

على الرغم من ذلك، أثبت جوديل أن الرياضيات نفسها لها حدودها. ففي نظريته، نظرية النقص، أظهَر أنه ليس هناك نظام منطقي يمكن أن يستخدم لإثبات اتساقه. ولفعل ذلك، يجب على المرء أن يخرج من النظام، ويندفع صعوداً على المستوى، ويدرسه من موقع مناسب أعلى، مستخدماً الوسائل الرياضية الأكثر قوة. ولكن إثبات تساوق ذلك النظام يحتاج إلى الصعود على مستوى آخر، وهكذا، إلى ما لا نهاية. ومن ناحية أخرى، يبدو أن النقطة الأكثر ارتفاعاً غير موجودة، أي لا وجود لتجريد نهائي. فنحن جزء من الكون نفسه الذي نحاول أن نفهمه. ونحن محتبلون داخل النظام. وليس هناك نقطة أرخميدسية نقف عندها ونشاهد كل الخلق.

فهم ويتْجِنسْتِن هذا بطريقة أكثر عمومية. فنحن، في بحثنا عن نظام، نستخدم لغة، لفظية أو رياضية، لوضع نظريات، أي تمثيلات–"صور للعالم". ولكن لا نجد سبيلاً لشرح كيف تكون نظرياتنا قادرة على وصف ما نعتبره واقعاً. فذلك يتطلب نظرية أخرى، ولكن عندئذٍ يترتب علينا أن نشرح كيف أن هذه النظرية قادرة على شرح النظرية الأولى–وهذا يحتاج إلى نظرية ثالثة، دون انقطاع. وتفادياً للسقوط في جحر الأرنب هذا، يجب أن نتوقف في نقطة ما، ونحفر بأعقاب أقدامنا، ونعلن ببساطة أن تمثيلنا صحيح. لا يمكن أن يكون لدينا نظرية تمثيل–نستطيع أن نمثِّل فقط. وأي جهد لتفسير العالم، يحتاج إلى قفزة إيمان.

نحن نحلم بعقل متسامٍ. ولكننا مرتبطون بالمادة. ونبني هذه الأبراج الكبيرة للتجريد، ولكن، في نهاية الأمر، ترتكز كلها على رصيف عقيدة، وهي مسلَّمات يجب أن نقبلها كحقيقة لأنه لا سبيل أبداً إلى إثباتها. وعلى خلاف العلماء في لوس ألاموس أو حتى العلماء الأصوليين، فإن التوابين مطمئنون إلى الاستسلام للغموض، أي قبول التسليم بأن هناك الكثير جداً مما لا يمكن أبداً معرفته. ويمكن أن نتعجب لرميات زهر النرد التي أدت إلى قصة معجزة شِمِيو، أو للجماعة الصغيرة من الرجال الذين يركعون أمام كريستوس في الموارادا في تروتْشِس. ولكن إيمانهم، بالنسبة لهم، لا يحتاج إلى تفسير. إنه شيء ما كان موجوداً على الدوام.

خاتمة

خرائب لوس ألاموس

لم يبق الكثير من قرية أتاوي، فقط مشهد متموج لروابي ومنخفضات يمكن لعيني عالم آثار أن تعرِّفاها بوصفها جدراناً منهارة وكِيڤات مطمورة، وهو تناسق زال تقريباً. وتتناثر بين هذه الخرائب قِطَع من خزف أبيض مع تصاميم هندسية سوداء مألوفة جداً لدى المتنزه سيراً على هضبة پاجِريتو-أنماط أكثر تخلفت محطمة، أحجية صور مقطوعة لن يعاد أبداً جمعها بصورة كاملة. وأتاوي التي تقع في منتصف الطريق بين آيْدِفونسو ولوس ألاموس-عمرها بالضبط خمسمئة سنة-تصمد كمذكِّر إضافي بهشاشة الأنسجة التي ننسجها.

وعلى خلاف خرائب تسانكاوي المجاورة، التي بنيت في مكان مرتفع على قمة هضبة، بنيت أتاوي في مكان أدنى إلى الأرض، في قاع واد ضيق بين هضبتين. فإذا أراد قروي أن يصل إلى موقع مناسب أعلى، فإنه يمكن أن يزحف عبر نهيْر يجري قريباً، ثم يتسلق صخرة منزلقاً إلى قاعدة هضبة أتاوي، المنخربة بمساكن صخرية. هنا، في مكان مرتفع عن الأرض، ترك القرويون علامات غريبة تحيِّرنا اليوم. فنجد محفوراً على جدران الكهوف الضحلة وسقوفها خطوطاً منكسرة حلزونية، ودوائر متراكزة، ورقعات داما-الأنواع نفسها للتصاميم التي نجدها في كل أنحاء نيو مكسيكو.

لولا الأمثلة الأكثر وضوحاً-صور نسقية لأناس وطيور وأيل-لكانت فكرتنا ضعيفة حول ما تعنيه هذه الأنماط. وأياً كانت الرسالة التي قصدها هؤلاء الكتَّاب العموميون فإنها ضاعت في خضم الضجيج. ونحن، مع ذلك، ندرك مباشرة هذه العلامات بوصفها أنماطاً، علامات لذكاء قريب من ذكائنا-عظاماً عارية لعلامة تتخذ مساراً قوسياً عبر القرون. ومع أنه لن نعرف أبداً على وجه الدقة ماذا كان أناسَزِيي أتاوي يحاولون أن يقولوا، فإنه يمكن أن نشعر بوجود عقول أخرى فعالة، أشخاص أقرباء ينهمكون في لعبة بشرية للَّعب بالأنماط. هؤلاء الناس أيضاً كانوا مفتونين بالتناسقات. كانت أدمغتهم ترن لتكرار أنماط بسيطة: الأشكال V تتكرر لتشكل خطاً منكسراً، والأشكال U تترابط لتشكل تقريباً موجة جيبية؛ والزوايا القائمة تصعد لتشكل سلَّماً، نمطاً يُحاكى فيما بعد في الكنائس الكاثوليكية في كل مكان في الجنوب الغربي؛ والسلالم إلى اليمين تعكسها سلالم إلى اليسار، لتشكيل خط كفافي لبرج وإظهار فكرةِ التناسق الثنائي الجانب؛ والدوائر المتراكزة تلتقي على حدها المنطقي، النقطة-إيقاعات بصرية تنوِّم مغناطيسياً كإنشاد أغنية أو حلقات رقص.

إن هؤلاء الناس الذين لا نعرف عنهم سوى القليل جداً، اكتشفوا عن طريق الصدفة قدرة خفية للتصوير. فعن طريق بضع ضربات بسيطة بمدية سَبَجِيَّة لنقش وجه صخرة، يستطيع أحدهم أن يرسم صورة تبدو كوجه بشري: دائرة بأربع علامات تمثل العينين، والأنف، والفم. وليس مهماً أبداً إذا لم تكن الوجوه دائرية حقاً أو أن لا تبدو الملامح الوجهية فعلاً كنقاط وخطوط. وما دامت العلامات منظمة بالترتيب نفسه الذي يجده المرء على وجوه حية تتنفس، فإن العلامات تثير في العقل إحساساً بالتقدير. وبعد خمسمئة سنة بفصول شتائها، فإن الدماغ، على الرغم من عمليات التجوية، ما يزال يستجيب.

حالما بدأ الناس يحفرون أشكالاً على جوانب الصخور، يجب أن يكون قد اتضح بسرعة أنه لا ضرورة إلى أن تكون صورتان متشابهتين بدقة. فالعينان يمكن أن تكونا أقرب أو أبعد عن بعضهما. والأنف يمكن أن يُصوَّر بعلامة عمودية أو نقطة، والفم بخط أفقي أو دائرة. وضمن الأحياز العقلية للدماغ، يجلس كل من هذه الأشكال على منحدرات الحوض نفسه للجاذبية–هذا الصنف الذي نسميه وجهاً. وتسمح لنا المرشِّحات الأخرى العصبية بتمييز الدوائر والحلزونات. وإذا عاينَّا هذه الأنماط البسيطة، المحفورة في رماد بركاني متصلب، فإن كلاً منها يبدو مختلفاً، تماماً كحرفين متماثلين ظاهرياً في صحيفة، ولكن عند تكبيرهما مئات المرات، فإننا نجدهما مختلفين تماماً. ومع ذلك، ومع تجاهل قدر من التفصيل، عن طريق التحبب الخشن، يمكن أن نتحسس التشابه المستبطن. إنها إشارة يمكن اكتشافها وسط الضجيج. ليس هناك أبداً حلزونان متشابهان بدقة. ونحن نخلق فكرة حلزون عن طريق تكتيل مدى واسع من التقريبات.

والدرس الثاني الذي تعلّمه ثقافة ما، هو التالي: لا حاجة إلى أن يحمل الوسم أي شبه مهما كان للمعنى الذي أُريد له أن يصوره. ويمكن أن يكون قد جرى تقليدياً تقرير أن الحلزون الأيسر يمثل الشر والظلام، والحلزون الأيمن الخير والنور، أو يمكن أن يمثل أحدهما الصيف والآخر الشتاء. والوجه تمثيل؛ يمكن أن نميزه بسبب تشابهه البسيط مع الشيء الحقيقي. ولكن الحلزون رمز؛ يجب تحديد معناه اعتباطياً. إنه مصادفة متجمدة.

بمرور القرون يميل الاختلاف بين التمثيل والرمز إلى التلاشي. فعندما يتم ترسيخ المعنى، فإن الصور التي نرسمها يمكن أن تصبح متمددة ومشوهة إلى حد أنه يصعب على مبدعها أن يتعرف إليها. وما يبدأ كتمثيل، أي صورة غير متقنة، يصبح مؤسلَباً ومجرداً حتى لا يبقى من الصورة الأصل أكثر من تلميح، كما في الايديوجرافات المعقدة، الصينية واليابانية، التي تسمى كانجي. ولكن ما دمنا نستطيع تمييز صورة من أخرى، فإنه يمكن المحافظة على المعاني.

عندما تعبُر التمثيلات الحدَّ إلى الرمزية، عندئذٍ لا تبقى هناك طريقة لاستخلاص المعنى من الصورة نفسها. فالدائرة المقسمة إلى أربعة أرباع، يمكن أن تعني واحداً من أربعة أشياء، اعتماداً على القطاع المُعلَّم بنقطة. وبما أن المعنى ليس ذاتياً في العلامات، فإننا نحتاج إلى كراس شيفرة لكي نفهمه. وبالنسبة للأناسَزي، إذا كان هناك أي كراس للشيفرة، فإنه بجلاء لم يكن مطبوعاً في أي مكان إلا في ذواكرهم، أي الأنماط المرهفة للترابطات العصبية التي أثرت على جيل إثر جيل–معلومات ضاعت في مكان ما على امتداد الطريق أو احتجزها أولئك الذين يحملون مفاتيح الكِيفْة.

فوق التل عند أتاوي، في لوس ألاموس، هناك موقع أمامي لحضارة أصبحت خبيرة جداً بسحر الرمزية إلى درجة أنها قامت بالقفزة الكبيرة التالية: رموز يمكن أن تُرَمَّز إلى رموز أخرى. هنا أيضاً يمكن أن تكون العلاقة اعتباطية تماماً. وباستخدام أعداد تمثل الحروف، وعلامات تنقيط، ومسافات، يمكن تحويل الكراس إلى عدد طويل. وبعدئذٍ يمكن تحويل هذا العدد ثانية إلى أبسط شيفرة ممكنة–شيفرة لا تميز شيئاً أكثر تعقيداً من وجود أو غياب، واحد أو صفر. وهذا ما يجري بالضبط عندما يُرَقَّم digitize نص أو يُخزَّن على قرص حاسوب. إن المعرفة المسجلة لحضارة ما–كل كتاب في المكتبة البريطانية أو مكتبة الكونجرس، كل تسجيل موسيقي، كل شريط ڤيديو وفيلم–يمكن تحويله، على نحو يمكن تخيله، إلى عدد طويل مرعب من بايتات وبايتات المعلومات.

وعلى فرض أننا أردنا نقل هذه المعرفة، كل شيء كنا قد تعلمناه، إلى عالم آخر. أولاً، نحتاج إلى أن نجعل التمثيل مدمجاً بقدر الإمكان. وباعتصار الزيادات، نستطيع أن نضغط العدد بحيث يشغل أمكنة أصغر وأصغر. وفي الواقع، إذا كنا ماهرين بما يكفي، فإننا نستطيع تمثيل العدد بطريقة لا تحتاج تقريباً إلى مكان مهما كان. ببساطة، نأخذ السلسلة الطويلة من الأعداد دون العشرة ونضع فاصلة عشرية أمامها بحيث تصبح كسراً بين صفر وواحد، أي مجرد نقطة على خط. وبعدئذٍ نختار عصاً ملساء ونعلن أحد طرفيها صفراً والطرف الآخر واحداً. ونقيس بدقة، ثم نفتح فرضة في العصا–نقطة على المُتَّصَل الذي يمثل العدد. إن كل تاريخنا، كل فلسفتنا، كل موسيقانا، كل علمنا–كل شيء نعرفه سيكون مُتضَمَّناً في تلك العلامة المفردة. ولاسترجاع معرفة العالم، يجب على المرء أن يقيس بعد الفرضة عن طرف العصا، ثم يحوِّل العدد رجوعاً إلى كتب، وموسيقا، وصور.

يعتمد نجاح المشروع على أناقة العلامة ودقة القياس. فعدم الدقة، مهما كان طفيفاً، سيسبب احتراق كل مكتبات الاسكندرية. ومع أننا نعتبر العصا كمُتَّصَل، فإن التجزع الكمومي يمكن أن يحدد، بشكل أساسي، إلى أي مدى يمكن أن تكون العلامة أنيقة. ولكن قبل أن يقارب المرء هذه التقليصات، يبدو أنه يمكن تسجيل كمية لا يمكن تصورها من المعلومات.

لنفترض أن العرَّافين في أتاوي اكتشفوا هذه الحيلة. ولنفترض، على العكس من كل دليل، أنهم طوروا لغة مكتوبة، ونظام عَدّ، وأدوات دقة كافية لترميز كتاب وحيد لمعرفة مقدسة في فرضة عصا مصلٌ –ربما الكتاب نفسه الذي يفسر ما تعنيه الرموز على الأسوار الصخرية. ولنفترض أن متنزهاً سيراً على القدمين اكتشف العصا وهو يستكشف في الكهوف فوق أتاوي. فهل يمكن اكتشاف المعرفة؟

قبل كل شيء، لن نعرف من أي من طرفي العصا يجب أن نقيس. وحتى لو كانت العصا معلَّمة من الطرفين، فكيف سنقرأ الرموز؟ نظراً لوجود خيارين لا غير، فإنه يمكن أن نقيس من كل طرف ونقارن النتائج. ربما يُظهِر التحليل الإحصائي أن سلسلة واحدة مليئة بالتناسقات–الأنماط–في حين تكون السلسلة الأخرى عشوائية. ولكن ربما كانت الرسالة مضغوطة جداً إلى حد أنها تبدو عشوائية بأي من الطريقتين قرأناها. عندئذٍ، يجب أن نفك شيفرة كلتا السلسلتين.

وعلى أية حال، تصبح مهمتنا التالية هي تحويل الأعداد إلى شيء ما يمكن إعادة ترجمته إلى لغة. يمكن أن نفترض أن المعرفة رُمِّزَت باستخدام نظام عد على أساس ١٠، لأن هؤلاء كانوا بشراً بـ ١٠ أصابع. ولكن بعض الثقافات كانت تعد بالفُرجات بين الأصابع، أي على أساس ٨، أو بثلاث قطع لكل من الأصابع الأربعة في يد واحدة، أي على أساس ١٢. فإذا كانت تلك هي المشكلة الوحيدة، فإنه يمكن أن نجرب احتمالات متعددة، لنعرف أيها له معنى وأيها هراء. وسيواجهنا العائق الذي لا يمكن تجاوزه عندما نحاول تحويل الأعداد إلى رسالة. والطريقة الوحيدة لكي نعرف ما تمثله الأرقام من رموز هي البحث في كراس الشيفرة. وكراس الشيفرة يمكن أن يكون مُضمَّناً في مكان ما في السلسلة مع النص المقدس، ولكن كيف نميزه من بقية الرسالة؟ وكيف سنفك شيفرة كراس الشيفرة؟ ظلال ويتجنشتاين: عندما نحاول أن نصف كيف يمثل التمثيل، فإننا ننحدر إلى نكوص أبدي.

إن هذا العدد الطويل، الطويل الذي تركه لنا أسلافنا سيكون اختراقه مستحيلاً، كسطح جرف رخامي أملس، دون نوع من قرينة–صامت كالتمثيل الرقمي لآلام القديس ماثيو دون آلية لتحويله إلى أغنية. فكيف نحصل على موطئ قدم؟ ما لم نكن محظوظين بما يكفي لاكتشاف حجر رشيد المحجوب في كهف آخر في مكان ما، فإن العدد في حد ذاته سيكون عديم المعنى. وحتى إذا كان لدينا كراس الشيفرة، فإنه ليس واضحاً كم من الرسالة التي فككنا رموزها سيكون ذا معنى دون معرفة ما بثقافة الناس الذين شفَّروها. وبما أن هؤلاء كانوا من بني البشر، أي هناك بالتأكيد ما هو مشترك بيننا وبينهم، فإنه يمكن طرح بعض الافتراضات. وسيكون الكثير منها مصادفات متجمدة. وكما كتب ويتجنشتاين، إذا استطاع أسد أن يتكلم، فإننا لا نستطيع أن نفهمه لأننا لا نعيش في عالمه.

من كهوف أتاوي، يمكن للمرء أن ينظر عبر الوادي إلى الطريق العام، منحوتاً في الجانب الآخر من الجرف، ويتابعه صعوداً إلى مختبرات لوس ألاموس، ومراكمي ومصنِّعي الكثير جداً من المعلومات. وتماماً كما ترك لنا الأناسزي رسائل، لنفكر فيها بعد قرون، فإن العلماء الذين ينهمكون في البحث عن ذكاء خارجأرضي، أو سيتي Seti،[187] يرسلون رسائل على أمل أن تكون مفهومة لدى مخلوقات في عوالم أخرى. ونقذف عصي صلواتنا إلى الفضاء على أمل أن يُعترَض سبيلها. ونرسل إشارات لا سلكية إلى الأثير؛ ونحفر علامات في ألواح الألومنيوم وننقلها على مسابير فضائية إلى ما بعد النظام الشمسي. تتضمن الرسائل التي أرسلها العلماء على مدى سنوات صوراً نسقية لرجال ونساء، لا تختلف كثيراً عن فن الصخور عند الأناسَزي، ورسوماً تخطيطية للحلزون المزدوج الدَّنا ولنظامنا الشمسي، مترافقة بخريطة للنجوم تحدد موقعنا بالنسبة لعدد من النجوم التي تبث ترددات، أي إيقاعات ومضها الذي يعيَّن في شيفرة ثنائية باستخدام تردد ذرة الهيدروجين كوحدة زمن. سيعتز معترضو إحدى مركباتنا الفضائية 'ڤويجر' بحيازة تسجيل چلِن چولد الذي يعزف مقدمة باخ. وهذا جزء من مجموعة من الأصوات والصور الأرضية التي تتضمن معلوماتها المطبوعة رسماً تخطيطياً يبيِّن كيف نركِّب مشغِّل اسطوانات، باستخدام إبرة تسجيل مغلقة وفيلم ملفوف. لا ريب في أننا نريد أن نصدق بأن هناك قواسم كونية مشتركة يمكن تمييزها عن طريق أشكال لحياة ذكية في كل مكان. ونأمل أن تتضمن رؤيتنا للتطور البيولوجي وربما أيضاً نظرية الكم (عند زْيورِك، وهارتل، وجلّ–مان) أن نشوء جامعي المعلومات حتمي. فهم أيضاً يمكن أن يفهموا الكون بلغة الزمان والمكان وبالتالي ينوِّمهم مغنطيسياً الإيقاع والنمط. ويشعرون بمثيرات التعرف عندما يرون على الأقل بعض علاماتنا.

ولكن هناك أسباب وجيهة لعدم الانجراف بعيداً. فكما رأينا، هناك من يحتج بأن هذا الذكاء الذي نفاخر به، هذا الإلزام لاكتشاف نظام، ليس أكثر من انعطاف حاد للتطور، حادث مفاجئ في التاريخ البيولوجي. وحتى إذا كان جامعو المعلومات كثر، فهل نلتمس العذر لأنفسنا بافتراض أنهم يقسِّمون العالم بالطريقة التي يتبعها علماؤنا؟ إن توقع أن يميز الجيران المِجَرِّيون إشاراتنا كإشارات ويكتشفوا ما تعنيه، يمكن أن يكون غير واقعي إلى حد يائس كمحاولة فك شيفرةِ فرضة في عصا مصلٍّ. وإذا صح ذلك، عندئذٍ يمكن أن ننسى إرسال الحلازين

[187] David Sobel، و Frank Drake لـ ?Is Anyone Out There -وردت تفاصيل محاولات الاتصال بمخلوقات خارجأرضية في

المزدوجة أو الرسوم التخطيطية لذرات الهيدروجين إلى عوالم أخرى-يمكن أيضاً أن نرسل فقط صفحات من شيفرة مصلحة الريع الداخلي.

حتى بالنسبة لثقافة تلهّت بذبذبات المادة التي نسميها موسيقا، ما مدى المغزى الذي يحمله عزف چولد لباخ دون مئات السنوات من تاريخ الموسيقا؟ يسلِّم واحد من مهندسي مشروع سيتي seti، الفلكي فرانك دريك، بإمكانية أنه قد لا يكون المستمع الغريب قد ابتكر/اكتشف موسيقا، أو أنه، على العكس، يمكن أن يفضل الاستماع إلى إيقاع صور الفيديو، ولكن حتى ذاك يفترض امتداداً حقيقياً لأرض مشتركة. فالإشارات لا قيمة لها دون سياق. واليوم يمارس ملايين الناس تجربة 'نقل بيانات' برنامج حاسوب على خط الهاتف. فتُرسَل بتّات الشيفرة في شكل نغمات، وعندما تُستقبَل الرسالة، تظهر أيقونة جديدة على الشاشة. وبنقرة مزدوجة لتفعيلها، وواعجباً، يحصل المرء على آلة حاسبة جديدة! ولكن الإشارة نفسها لا تستطيع أن تحسب. فإذا سجل أحدهم الخط واحتبل نغمات المودِم modem، فإنه لن يحصل على كامل المعلومات الضرورية لإعادة تركيب الجهاز الحاسوبي. أولاً، ليس هناك، في الواقع، واحدون وأصفار في خط الهاتف ولكن، على الأصح، نغمات حددت اعتباطياً هذه القيم. يجب أن يكون المرء قد حصل على الشيفرة مسبقاً. وحتى في هذه الحال، ستكون الرسالة عديمة الفائدة دون قرينة-تشغيل الحاسوب الذي كتبت عليه. فبرنامج ماكنتوش لن يعمل على حاسوب آي بي إم.

وحتى إذا كان لا يمكن حل شيفرة معنى رسائلنا، فإن أملنا يبقى معقوداً على أن أي واحد أو أي شيء سنعتبره ذكياً-جامع معلومات-سيميز، على الأقل، وجود الأنماط: التناسقات لا يحتمل أن تكون حدثت عن طريق الصدفة. وكما نفكر بمعرفتنا، وما الكوني منها وما الصدفة، نأمل أن نستطيع افتراض أن التماثل نفسه هو أكثر من بناء بشري. ولا شك في أنه إذا كان هناك شيء ما أساسي في الكون إضافة إلى المادة والطاقة، فإنه يكون هذا الشيء الذي نسميه نمطاً أو شكلاً. ولكن، في عالم مادي، أين يمكن أن يوجد شيء ما أثيري جداً ظاهرياً كنمط؟

إن لدى الأفلاطونيين جواباً جاهزاً: الأنماط-الأشكال، الأعداد، التماثلات، الأفكار-تأتي أولاً. فهي موجودة بصورة مستقلة في مملكة مستقلة للفكرة المجردة. والعالم المادي مجرد ظل لها. فعندما ننجز العلم أو الرياضيات، فإنما نحن نقرأ عقل الإله. لا شك في أن الأفلاطونيين يمكن أن يحتجوا، فهناك شيء ما عميق حول حقيقة أن الشروط الأولية للانفجار الكبير كانت هكذا بالضبط إلى حد أنها ولَّدت كائنات واعية تتمتع بالقدرة على فهم الخلق. وهم، على عكس الكثير جداً من البيولوجيين التطوريين، ميالون إلى فهم الوعي بوصفه أساسياً، لا نتاجاً اصطناعياً، أي حادثاً طارئاً في التطور. وكان لديهم ظل من الشك في أنه يجب أن يكون هناك أوعية أخرى للوعي الذي يكتشف القوانين الرياضية نفسها. وكدليل على هذا الإيمان الصوفي، أشاروا إلى كيف يبدو أن أدمغتنا تُرجِّع الصدى مع النسيج الحقيقي للطبيعة، باستخدام هذه المَلَكَة الطبيعية ظاهرياً التي تسمى رياضيات لاكتشاف القوانين التي تُطبَّق في كل مكان من الكون، وفي كل زمان.

طبعاً، نحن في الواقع لا نعرف أن الحقائق عامة حقاً. وعلى الأصح، نفترض أن القوانين هي نفسها في كل مكان، وبالتالي نفسر ملاحظاتنا وفقاً لها (مع إضافة مادة مظلمة للتأكد من أن المجرات تدوِّم بطريقة صحيحة).

ولا يمكن، في الواقع، أن نتأكد تماماً من مدى عمق أو ضحالة هذا الفهم. فليست لدينا مقاييس نقيس بها. والعلماء في لوس ألاموس حدسيون بما يكفي حول الطبيعة لإنتاج قنبلة ذرية. ولكن الانشطار الذري، بالنسبة لذكاء أعلى، ربما يكون المكافئ للنار. والقوانين الأعمق يمكن أن تكذبنا بسبب قيود أجهزتنا العصبية، وهي خصوصيات الشبكة التي نصف بها العالم.

وفي النهاية البعيدة عن الأفلاطونيين وإلههم الرياضي هناك البنائيون الثقافيون، الذين يعتبرون العلم والرياضيات ابتكارات بشرية-مجموعة من الاصطلاحات، أو المصادفات المتجمدة، طارئة على ثقافة المحيط تماماً كما هو القانون العام البريطاني. فالعلم، في هذه الرؤية، بناء ثقافي تم إنشاؤه وتنفيذه من قبل قطاعات من مجتمع استخدم قدرة أكبر. ويبدو أن الرياضيات والعلم فعالان جداً لأن الكهنة الكبار الذين يمارسون هذه الفنون يحددون المقاييس التي يقاس بها النجاح. لقد نشأت الحركة الأدبية والفلسفية بكاملها لـ "تحليل' هذه الآيديولوجيات الخفية، وكشف الدوافع الخفية المدفونة على هذا النحو التي هي كل شيء باستثناء أنه لا يمكن تمييزها.

إذا كان الأفلاطونيون مؤمنين حقيقيين، عندئذٍ يكون البنائيون ملحدين قرويين. فهل نستطيع أن نجد أرضاً وسطاً بين هاتين النهايتين-طريقة لفصل الأنماط التي نلصقها على الواقع عن الأنماط التي يلصقها الواقع على عقولنا.

ربما تكون الأنماط التي نميزها غير عامة ولا اعتباطية، ولكن نتيجة تقاطع بين أجهزتنا العصبية ونوع ما من عالم حقيقي. وإذا اقتبسنا من كانط، يمكن أن نبدأ بتفسير الفعالية الظاهرية للعلم والرياضيات كما يلي: لدينا هذه المرشِّحات العصبية المسلَّكة بعجلة وهمة كبيرتين (يسميها كانط "قبْليَّة priori") التي تعمل باستمرار على تصفية وابل الانطباعات الحسية. وعندئذٍ يكون ما ندرسه هو نتيجة التصفية. ويُغفَل كل ما عداها. وهكذا تخبرنا الأنماط التي نكتشفها حول المرشِّحات بقدر ما تعلمنا حول المرشَّح. هناك شيء من اللغو حول هذا. فعندما يتراءى أن ظواهر الكون تمتثل ربما لقوانين الرياضيات، فهذا لأن ناتجاً واحداً للجهاز العصبي-الرياضيات- يعترف بناتج آخر-الانطباعات الحسية المرشَّحة. وهكذا نرى نحن ظلال أدمغتنا الخاصة.

ولكن المرء يستطيع أن يقبل هذه الرؤية دون أن يكون أنانوياً. وما دمنا راغبين في التسليم بوجود عالم حقيقي هناك، فلا مبرر للظن بأن رياضياتنا وبرامج تمثيلنا بكاملها اعتباطية. فالدماغ تطور في العالم. وصاغته البيئة. وهكذا نستطيع أن نتوقع أن تمثيلاتنا العقلية تمتُّ بصلة ما مفيدة إلى ما هو ليس أقل من زاوية صغيرة جداً من مجرة واحدة.

باعتناق هذه الفكرة، نتخلى عن فكرة العقل بوصفه بركة صافية من الماء، تعكس، بصورة سلبية، الحقائق التي تقع وراء الحواس. والتماثلات التي تسحرنا جداً قد لا تكون أكثر من أدوات جيدة-وسائل مدمجة للأدمغة لاختزان المعلومات. لا حاجة إلى أن تكون هناك حقيقة، أي دائرة أفلاطونية. وفكرة "دائرة" يمكن أن تكون مجرد انضغاط، نتاجاً صنعياً لقدرة الدماغ على التحبب الخشن. فإذا اقترينا من العالم بتحبب ناعم جداً، عندئذٍ يجب أن نفهرس كل "دائرة" نراها بوصفها شيئاً منفصلاً، محددين كل نقطة. وبأخذ نوع من معدل والادعاء بأن هناك مثلاً أعلى يسمى "دائرة،" يمكن فقط أن نلاحظ الانحرافات. الدماغ متناهٍ، وكذلك يجب أن يكون التحبب الخشن،

يصنفان الأشياء في أصناف كما لو كان هناك أنماط. ولولا هذه القدرة على تمييز التقريبات التي نسميها تماثلاً، لما كُتِب لنا البقاء طويلاً في العالم.

إذا نظرنا بهذه الطريقة، فإن الأرقام، والمعادلات، والقوانين الفيزيائية لا تكون أشياء أثيرية في نطاق شبحي أفلاطوني ولا ابتكارات ثقافية كالشطرنج، بل مجرد أنماط للمعلومات–انضغاطات–عادة من قِبَل مراقب تهيأ له أن يتصل بالعالم. إنها تشكيلات لبِتّات، وهي أبسط تمييز ممكن يمكن إجراؤه: نقطة في المكان مشغولة أو غير مشغولة، خاصية موجودة أو غير موجودة. وإذا كانت المعلومات فيزيائية، تتألف من مادة وطاقة، عندئذٍ نكون قد قطعنا شوطاً طويلاً نحو طرد أشباح فيدروس. فقوانين الفيزياء انضغاطات وضعها جامعو معلومات. وتختزن على أشكال علامات–في الكتب، على أشرطة تسجيل مغنطيسية، في الدماغ. إنها جزء من العالم الفيزيائي.

إذا كان في الكون جامعون آخرون للمعلومات، فإنه يمكن أن يصنعوا انضغاطات مختلفة، تقسِّم العالم بطريقتهم الخاصة. ويمكن أيضاً أن يكتشفوا طرقاً مختلفة تماماً لعملية معالجة المعلومات. ويعتقد بعض الفيزيائيين أنه يمكن صنع حواسيب كمومية تتدخل فيها، ببعضها بعضاً، أعداد ضخمة لحسابات متراكبة–يلغون ويعززون حتى تعطي، ككل المسالك الممكنة، لفوتون يرتد عن مرآة مساراً واحداً هو الجواب على مشكلة عنيدة من نواح أخرى. وباستخدامهم الخواص الغريبة لميكانيكا الكم، يمكن أن يحملوا المواد إلى ما وراء متناول الأدمغة ومكنات تورنچ. ولكن حتى إذا قامت كائنات مختلفة ذات قدرات مختلفة بنسج أنماط مختلفة، وأعجبت بتماثلات مختلفة، فإنها ستتشاطر القدرة على إجراء تمييز ثنائي. وذلك تقريباً، على الأقل، لن يكون نتاجاً صنعياً. فهي لن تَسِمَ بِتّاتها بواحدين وأصفار ولكن ستكون اكتشفت فكرة معلومات، وهي الأساسية أكثر من كل التمييزات. فإذا كان أي شيء عاماً، فإنه ربما يكون هذا.

أو هل يمكن أن تكون المعلومات أيضاً نتاجاً صنعياً، تخطيطاً آخر من تخطيطاتنا؟ ومع ذلك، ليس هناك في الواقع واحدون وأصفار داخل حاسوب رقمي، ولكن فقط قلطيات نشطرها برسم اعتباطي لخط، ونعلن كل شيء تحته صفراً، وكل شيء فوقه واحداً. كل شيء يجري داخل الآلة يمكن وصفه على نحو تخيلي بلغة التيارات المستمرة للكهرباء دون اللجوء إلى هذه الفكرة للمعلومات. وبالمثل، يمكن وصف عمل العين أو حتى كامل الجهاز العصبي تماماً بلغة الكيمياء الحيوية دون أي حديث عن الإشارات. ويمكن أن يوصف تكرار الدنا ونسخ البروتينات بتفصيل جزيئي مجهد دون ملاءمة الرموز–G، وC، وA، وT. وبالصعود إلى مستوى أعلى من التجريد وتحليل الأجهزة والخلايا العصبية بلغة المعلومات، نستطيع الحصول على فهم أفضل لكشف التعقيدات. ويمكن أن نستخدم فكرة معلومات لبناء أجهزة تشبه الحواسيب الرقمية. ولكن من هذا المنظور، تبدو البِتّات كاختراعات بشرية، أي تفسير يفرضه العقل.

إذا مُحِي الجنس البشري عن وجه الأرض، فإن الحواسيب ستواصل عملها حتى تتوقف إمدادات الطاقة. ولكن دون وجود مفسر، هل يمكن فعلاً القول إنها تعالج شيئاً ما يسمى معلومات؟

إذا جلس المرء فوق الجدران المتهدمة في أتاوي، فإنه يمكن أن يتخيل الزمن الذي أصبحت فيه شقيقتها مدينة لوس ألاموس خرائب أكثر موتاً على هضبة پاجِريتو، قرية أخرى قديمة تنتظر أن يكتشفها علماء الآثار. إن صانع سلال I إلى III وپويبلو I إلى V يليهما جامع معلومات I وII.

تقف مختبرات الأسلحة في لوس ألاموس كمذكِّر بأن قدرتنا بالذات كمكتشفي أنماط يمكن أن تعمل ضدنا، أي أنها يمكن أن تدرك من النظام المستبطن للكون ما يكفي لإفراغ طاقة قوية جداً يمكن أن تدمر مكتشفيها أو تعمل ببطء على تسميمهم بنفاياتها. وربما يُدمَّر عالمنا بمتفجرات وغبار ذريين. أو، على نحو مخيف أكثر، بذيفان أو حِمَّات أو تغير مناخي لا يقهر، قاتل صامت سيزيل كل بني البشر، كل المفسرين، في حين يترك مبتكراتنا سليمة.

يبدو أن شيئاً من هذا القبيل حدث في رواية ديڤيد ماركسون المزعجة 'عشيقة وتجنشتاين،' مع أنه لا توجد هنا أجساد ميتة تتناثر هنا وهناك. ولأسباب لم تُوضَّح، كانت امرأة، نعرف أنها رسَّامة، هي آخر من بقي على الكوكب، مع أن كل واحد آخر تلاشى أو استخفه الفرح. أجهزة الراديو التي تفتحها صامتة. ويمكن أن تشرب من الأنهار، البو، المسيسيبي، السين.

هذه الناجية المتوحدة تقود السيارات المتروكة من مكان إلى مكان، وهي تستمع إلى أي شريط تسجيل صدف أن كان يعزف عندما اختفى السائق وتوقف المحرك. وتعبر المحيطات في سفن، وتزور المتاحف العظيمة للفن في العالم. وتعيش في اللوفر، وتيت، والعواصم، حيث تحرق إطارات الصور لكي تحصل على الدفء، مطلقة كوة للتهوية. وتحرص على عدم إزعاج الصور الزيتية، على الرغم من أنه لم يبق أحد لمشاهدتها.

وفي تطوافها، تحمل في رأسها حملاً من المتاع الثقافي–معرفة سطحية في التاريخ الكلاسيكي، ونوادر عن الرسامين والفلاسفة المشهورين، ونبذات عن ڤيڤالدي وجون بيز. والكلمات الوحيدة المنتجة على الأرض الآن هي تلك التي تدور في مونولوج داخل دماغها. ولكن كل هذا يُسجَّل بشكل ناقص ويتلف بسرعة. وتخلط بين بحر إيجة وبحر الأدرياتيك، وميشيل أنجلو وليوناردو دا ڤنتشي. وهل الأرميتاج موجود في موسكو أو سان بطرسبورج؟ فقد اختلطت الاختلافات ببعضها بعضاً، بسبب تبدد البِتَّات. وسينتهي بسرعة هذه المستودع الثقافي. وستفقد الصور الزيتية حقاً إطاراتها. ولن تكون فناً بعد اليوم، بل مجرد أصباغ زيتية ملطخة على قطع من القماش.

التسجيلات التي لن تُعزَف أبداً، الكتب التي لن تُقرَأ أبداً–الطريقة الوحيدة التي يمكن بها أن نصدِّق أن هذا الفتات سيبقى ذو معنى، هي أن نتخيل إمكانية قدوم زائرين مستقبليين، من عالم آخر، يحملون ما يكفي مما هو مشترك مع الجنس البشري لتمكينه من إعادة بناء كراس الشيفرة، الذي يميز الرسائل كرسائل والفن كفن.

ماذا ستفعل هذه المخلوقات بعلمنا؟ إن الغرباء الذين يحاولون فك شيفرة تسجيلاتنا يمكن أن يميزوا ما يبدو أنه أنماط معقدة في علامات الحبر على الصفحات أو المجالات المغنطيسية المتغيرة لأقراص الحاسوب (مع أنه إذا كانت المعلومات مضغوطة جداً، فإنه سيكون تمييزها من العشوائية أكثر صعوبة). وإذا ثابروا، فهل سيكتشفون حقائق يتعجبون منها، علامات لعقول من أصل واحد؟ أو هل سيسلِّمون أيضاً بالكتب وأشرطة التسجيل بوصفها أشياء يمكن أن تكون جديرة بالتحليل؟ لا يستطيع المرء أن يمضي إلى هنا وهناك لكي يقيس كل فرضة على كل عصا.

إذا كنا وحدنا في الكون، فإن حضارتنا تكون شبيهة بعشيقة وتجنشتاين. عندما نموت، سيتحطم المعنى. ولفترة من الوقت، ستواصل الحواسيب عملها، دون أن يكون هناك من يفهم الخرج. ولكن دون جماعات من

الشياطين الماكسويلية التي تبني جيوباً صغيرة من النظام وتحافظ عليها، فإن الانتروبيا ستتغلب. ستتفكك البطاريات، وتتمازج الشحنات الإيجابية والسلبية على نحو غير مفيد، وستصدأ خزانات الوقود، وترشح محتوياتها على نحو لا يمكن إصلاحه إلى الأرض. وتتفكك أنماط المغنطيسية المحفورة على أشرطة التسجيل، وتضيع التمييزات–هل هذه البقعة ممغنطة أو غير ممغنطة؟ وستختفي الصور الزيتية ببطء، مع النصوص التي تشرحها والنصوص التي تشرح النصوص.

في بعض الأحيان، يبدو ذكاء نوعنا كلهب ضئيل يرفرف على محيط ظلمة واسعة، في محاولة لإنارة الفراغ. فمن هو الذي حمَّلنا هذا العبء؟ هل يهتم أي واحد أو أي شيء من وراء خيمتنا السماوية؟ إذا كان هذا النسيج مجرد شيء ننسجه على سبيل التسلية، فإنه سيموت مع من خلقوه.

ولكن عندما يعتبر المرء أن التوق إلى نظام هو الذي يدفع سكان الجروف، الأناسَزي، إلى حفر تماثلاتهم البسيطة على الجدران الصخرية، وتحث راقصي سان آيدِفونسو في رقصهم المعقد أو الإخوة في تروتْشِس من خلال أشعار صيد الألادَدُس ومحطات الصليب الأربع عشرة؛ وعندما يفكر بالفضول الحارق الذي يدفع علماء الفيزياء فوق قمة الهضبة في لوس ألاموس دائماً إلى مستويات أعلى مدوِّخة من التجريد–يصعب ألا نصدق بأننا جميعاً نشارك في شيء ما كوني، شيء مقدس، يجب أن يكشفه الموكب فيما وراء كوكبنا. وربما نكون نحن واحداً بين عدد ضخم من العازفين–الذين يجمعون البِتَّات، ويجرِّدون الأفكار، ويشيدون صروح النظرية، هذه الأبراج الرياضية البابلية، التي ترتفع أعلى وأعلى فوق السهول. ترتفع بما يكفي ربما لتكتشف، فقط بجهد، إيقاع راقصين آخرين، رفرفة لهب آخر.

عبارات يمكن كتابتها على صفحة الغلاف الأخيرة

"هل هناك فعلاً قوانين تحكم الكون؟ أم أن النظام الذي نراه هو مجرد نتاج صنعي للطريقة التي عمل التطور فيها على تسليك الدماغ؟ وهل ما نسميه علماً هو فقط مجموعة من الخرافات تقوم فيها الكواركات، والدَّنا، والمعلومات بالدور الذي كانت الآلهة يوماً ما تقوم به؟ هذه الأسئلة تقع في قلب الاستكشاف الجريء الذي يقوم به جورج جونسون للحد الفاصل بين العلم والدين، والحادث الكوني والقانون الأبدي.

"ونيو مكسيكو هي موطن المشاريع الحديثة الأكثر إثارة في فيزياء الكم، وعلم المعلومات، وتطور التعقيد، وموطن كوزمولوجيات هنود التيوا والتوابين الكاثوليك. وعندما يجتذب هذا الكتاب القارئ إلى هذا المشهد، الذي تتعايش فيه طرق الإيمان التي تجذرت هناك، فإنه يعرض قصة مغامرة فكرية آسرة تجبر القارئ على أن يسأل أين ينتهي العلم ويبدأ الدين."

فهرس

